

TISZTELT KOLLÉGÁK!	121
MGE	
A Szeniorok Bizottságának hírei	122
OTKA	
Meghívó a geofizikai OTKA projektek IV. seregszemléjére — A poszterbemutatón szereplő OTKA pályázatok	123
OTKA CIKKEK	
Geomágneses pulzációk, a bolygóközi tér, a magnetoszféra és az ionoszféra az 1999. augusztus 11-i napfogyatkozás idején — <i>Verő József, Bencze Pál, Csontos András, Heilig Balázs, Szendrői Judit, Zieger Bertalan</i>	125
A magyarországi neogén vulkáni kőzetek hőtermelésének vizsgálata — <i>Lenkey László, Surányi Gergely</i>	128
A Pannon-medence jelenkori geodinamikájának atlasza: Euro-konform térképsorozat és magyarázó — <i>Horváth Ferenc, Bada Gábor, Windhoffer Gábor, Csontos László, Dombrádi Endre, Dövényi Péter, Fodor László, Grenczy Gyula, Síkhegyi Ferenc, Szafián Péter, Székely Balázs, Timár Gábor, Tóth László, Tóth Tamás</i>	133
Új irányzatok a magnetotellurikában — <i>Szarka László, Ádám Antal, Kis Márta, Lemperger István, Novák Attila, Szalai Sándor, Ubránkovics Csaba, Verő József, Westergom Viktor, Fejes Imre, Kiss János, Madarasi András, Prácer Ernő, Sörös László, Varga Géza, Nagy Zoltán, Zahucki Péter</i>	138
Együttes inverziós módszerek fejlesztése felszínközeli 2-D és 3-D szerkezetek kutatására — <i>Ormos Tamás, Gyulai Ákos, Pethő Gábor, Turai Endre, Daragó Attila</i>	144
Geo-hidrodinamika: Folyadékdinamikai jelenségek a Föld belsejében — <i>Cserpes László, Dövényi Péter, Galsa Attila, Lenkey László, Mihálffy Péter, Süle Bálint</i>	147
Az Ørsted mesterséges hold mágneses mérési adatainak feldolgozása és értelmezése — <i>Kis Károly, Wittmann Géza</i>	152
A Kárpát-medence jelenkori és paleorengéseinek komplex vizsgálata — <i>Szeidovitz Győző, Gribovszki Katalin, Bus Zoltán, Surányi Gergely, Győri Erzsébet, Leél-Össy Szabolcs, Scharek Péter</i>	155
Megnövelt térbeli mintavételezésű szeizmikus reflexiós mérések feldolgozása — <i>Ádám Oszkár, Scholtz Péter, Nyári Zsuzsanna, Gömböcz Lajos</i>	160
Földi elektromágnesség — <i>Verő József, Ádám Antal, Bencze Pál, Bór József, Koppán András, Kovács Károly, Lemperger István, Martini Dániel, Márcz Ferenc, Novák Attila, Prodán Tímea, Sántori Gabriella, Szalai Sándor, Szarka László, Westergom Viktor, Zieger Bertalan</i>	166
Inverziós módszerek a hidrogeológiában — <i>Szűcs Péter, Tóth Andrea, Zákányi Balázs, Madarász Tamás</i>	169
Magyarországi földrengések hipocentrumának és fészekmechanizmusának meghatározása teljes hullámforma inverzióval — <i>Wéber Zoltán</i>	173
Bádeni utáni vízszintes mozgások a Kárpát-medencében, komplex paleomágneses és mikrotektonikai tanulmány — <i>Mártonné Szalay Emőke, Fodor László, Magyar Imre</i>	178
Környezeti hatások kutatása vasszulfid-tartalmú üledékes kőzetek mágneses tulajdonságai alapján — <i>Márton Péter, Mártonné Szalay Emőke, Babinszki Edit, Kiss László Ferenc</i>	183
HÍREK, BESZÁMOLÓK	
Aranydiplomások köszöntése — A Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar felhívása — A Föld Bolygó Nemzetközi Éve 2008 — Vándorgyűlés 2007. szeptember 20–22. — Rendezvéynaptár	187

47. évfolyam 4. szám



2006

CONTENTS

Foreword of the Editor	121
MGE	
News.....	122
OTKA (Hungarian Scientific Research Fund)	123
OTKA Papers	
Geomagnetic pulsations, interplanetary space, magnetosphere and ionosphere during the 11. 08. 1999 solar eclipse <i>J. Verő, P. Bencze, A. Csontos, B. Heilig, J. Szendrői, B. Zieger</i>	125
Study of heat production of Neogene volcanic rocks from Hungary <i>L. Lenkey, G. Surányi</i>	128
Atlas of the present-day geodynamics of the Pannonian basin: Euroconform maps with explanatory text <i>F. Horváth, G. Bada, G. Windhoffer, L. Csontos, E. Dombrádi, P. Dövényi, L. Fodor, Gy. Grenczy, F. Síkhegyi, P. Szafián, B. Székely, G. Timár, L. Tóth, T. Tóth</i>	133
New trends in magnetotellurics <i>L. Szarka, A. Ádám, M. Kis, I. Lempenger, A. Novák, S. Szalai, Cs. Ubránkovics, J. Verő, V. Wessztergom, I. Fejes, J. Kiss, A. Madarasi, E. Prácser, L. Sörös, G. Varga, Z. Nagy, P. Zahucki</i>	138
Development of joint inversion methods for investigations of 2D and 3D near-surface structures <i>T. Ormos, Á. Gyulai, G. Pethő, E. Turai, A. Daragó</i>	144
Geo-hydrodynamics: fluid dynamical phenomena in the Earth's interior <i>L. Cserepes, P. Dövényi, A. Galsa, L. Lenkey, P. Mihálffy, B. Süle</i>	147
Processing and interpretation of the magnetic measurements of Ørsted <i>K. Kis, G. Wittmann</i>	152
Comprehensive investigation of recent and paleoearthquakes occurred in the Carpathian Basin <i>Gy. Szeidovitz, K. Gribovszki, Z. Bus, G. Surányi, E. Győri, Sz. Leél-Össy, P. Scharek</i>	155
Processing of reflection seismic measurements with increased spatial sampling <i>O. Ádám, P. Scholtz, Zs. Nyári, L. Gömböcz</i>	160
Geo-electromagnetism <i>J. Verő, A. Ádám, P. Bencze, J. Bór, A. Koppán, K. Kovács, I. Lempenger, D. Martini, F. Márcz, A. Novák, T. Prodán, G. Satori, S. Szalai, L. Szarka, V. Wessztergom, B. Zieger</i>	166
Inverse methods in hydrogeology <i>P. Szűcs, A. Tóth, B. Zákányi, T. Madarász</i>	169
Full waveform inversion of Hungarian earthquake data for hypocenter coordinates and focal mechanism <i>Z. Weber</i>	173
Post Badenian horizontal movements in the Pannonian Basin: a complex paleomagnetic-microtectonic study <i>E. Márton, L. Fodor, I. Magyar</i>	178
Study of the environmental effects using magnetic characteristics of sedimentary rocks with Fe-sulphides <i>P. Márton, E. Márton, E. Babinszki, L. F. Kiss</i>	183
News and Reports	187

A szerkesztőség a szakcikkeket szaklektorálás után közli. A szaklektorok névsora az évfűző kötetben jelenik meg.
A lapban megjelenő cikkek adatainak és állításainak helyességéért, ill. közölhetőségéért a felelősséget kizárólag a szerzők viselik.

MAGYAR GEOFIZIKA

Kiadja: Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet
1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.
Telefon: (1) 252 4999
Felelős kiadó: dr. Fancsik Tamás igazgató
Lombos Nyomda Kft., Budapest — Felelős vezető: Juhász Péter

• • •

Előfizethető a Magyar Geofizikusok Egyesületénél: 1371 Budapest, Pf. 433, tel.: (1) 201 9815,
egyesületi tagoknak tagdíj ellenében. Megjelenik évente négyszer

Index: 26 507



Tisztelt Kollégák!.

A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 2007 januárjában már negyedik alkalommal adott ott-hont a geofizikai tárgyú OTKA projektek poszteres bemutatójának. Először 1995 októberében került sor ilyen rendezvényre, akkor 15 posztert láthattak az érdeklődők. A 15 poszter szerzői közül 14-en küldték meg előadásukat cikk formájában is lapunknak. 1998 novemberében 24 poszter készült (közülük 19 cikk jelent meg), 2002 novemberében pedig 28 poszterből 20 cikket tartalmazó OTKA különszám született.

A mostani kiállítás eredetileg tervezett időpontja 2006 decembere volt, ez módosult 2007 januárjára. Ekkor szerzők 16 posztert mutattak be, és a lapzártai utáni lapzártáig összesen 14-en küldtek kéziratot — ennyi cikket tartalmaz lapunk.

A kéziratok leadásának határideje február 10-e volt — e napig 8-at küldtek. Türelem rózsát (cikket) terem. Reménykedtünk. Háttha... És íme, 20-án jelentkezett egy szerző: „...elkezdtek az OTKA cikk írását...”. Aztán beindult az üzlet: határidő után még 6 cikk beérkezett — a legutolsó március 8-án. (A szerkesztő legnagyobb

„öröme” arra is volt példa, hogy az utolsó ellenőrzésre visszaküldött kész, betördelt cikket a szerzők úgy átirták, hogy szinte csak a cikk címe maradt a helyén...)

A kezdetben csak szerényen csordogáló cikkfolyam is oka volt annak, hogy — eltérően az előző három esettől — az OTKA cikkeket nem különszámként jelentetjük meg, hanem a lapszámok „menetrendjébe” beillesztve, 2006. évi 4. számként. Jelen lapszámunk szerkezete annyiban rendhagyó, hogy kizárólag csak OTKA projektek cikkeit tartalmazza. Ezt a tényt azzal is jelezzük, hogy a lap tartalomjegyzékében nem „Szakcikk”, hanem „OTKA cikkek” rovatnév szerepel. Ugyancsak rendhagyó, hogy az itt megjelent cikkeket nem szaklektoráltattuk.

A szerkesztő reméli, hogy a Tisztelt Kollégák nemcsak az ELGI-ben látott poszterbemutatóra gondolnak vissza szívesen, de az itt olvasható cikkeket is tanulmányozzák.

A lapban közölt fényképeket a poszterbemutatón KAKAS Kristóf kollégánk készítette.

Tóth Lajos



BARÁTH István, TAKÁCS Ernő id., HOBOT József,
a háttérben LENKEY László

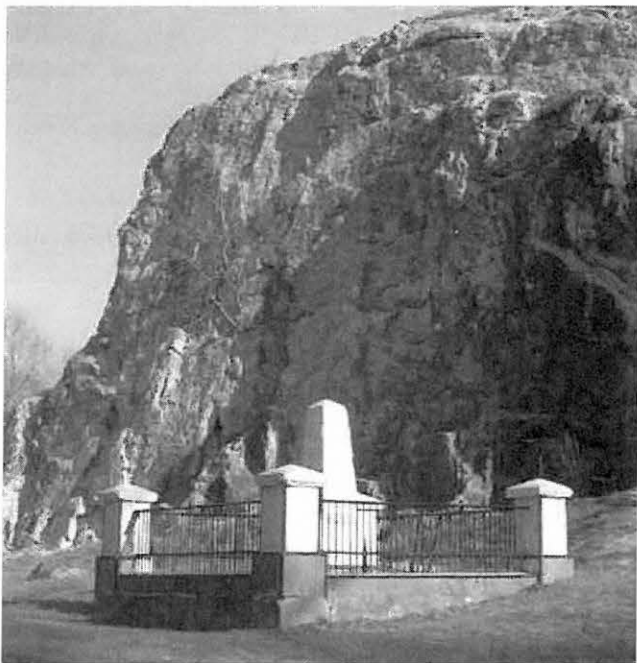


FANCSIK Tamás és PÁLYI András

A SZENIOROK BIZOTTSÁGÁNAK HÍREI

2006. szeptember 7-én a Magyar Geofizikusok Egyesületének Szeniorok Bizottsága tanulmányi kirándulást szervezett a nadapi magyar országos felsőrendű szintezési hálózat főalappontjához. Ezenkívül meglátogattuk a Tác község mellett fekvő Gorsiumot és megtekintettük a székesfehérvári Bory-várat. A tanulmányi kiránduláson 60 tagtársunk vett részt.

A Nadap község határában létesített országos szintezési alappont a Velencei-hegység délkeleti részén, gránit alapra települt. Magyarország első országos szintezését 1873-ban kezdték el az osztrák-magyar császári és királyi hadmérnökök, és a mérésekkel 1888-ban érték el a nadapi alappontot.



Az alappont magassága 173,838 méter az Adriai-tenger szintje fölött. Alapszintfelületnek a trieszti kikötőben, a Molo Sartorio-n elhelyezett mareográf (a tengerszint változásait feljegyző készülék) 1875-ben meghatározott évi közepes értékén áthaladó szintfelületet választották. A nadapi szintezési alappontot egy obeliszkkel jelölték meg, amint az a fényképen is látható. A gúla elforgatásával tűnik elő az a 20x20 cm-es, csiszolt gránitlap, amelyen a méréseket

végezték. A nadapi alappont létesítésének és szintje hihetetlen pontosságú bemérésének tudománytörténeti jelentősége abban áll, hogy a létesítésének idejében Magyarország ezzel sok európai országot megelőzött.

Az alappont aljzatán ma már nehezen olvasható, latin nyelvű feliratot helyeztek el, amely magyar fordításban a következőképpen hangzik:

„Igen pontos szintezéssel meghatározott, állandó jellegű pont, amely az Ausztriában és Magyarországon végrehajtott, európainak nevezett méréssel kapcsolatban létesült 1888-ban.”

A nadapi országos szintezési főalappont megtekintése után megnéztük a község főutcáján a 2000-ben felavatott Vörösmarty Mihály-mellszobrot. A szobrot annak tiszteletére emelték, hogy 200 évvel azelőtt, 1800. december 3-án a nadapi templomban keresztelték meg VÖRÖSMARTY Mihályt. DÖMSÖDI Balázs szíves segítségével megtekintettük a templomot, valamint a híres keresztelőmedencét és a Szózat elénekelésével emlékeztünk hazánk nagy költőjére.

Ebéd után meglátogattuk a Tác község határában levő Gorsiumot, az egykori római város romjait, amelynek feltárását FITZ Jenő régészprofesszor vezetésével jelenleg is végzik.

Délután megtekintettük a székesfehérvári Bory-várat, BORY Jenő építészprofesszor alkotását. BORY Jenő műegyetemi tanár kísérleti céllal építette a várat és eredményeit, tapasztalatait a tanítványainak oktatta. Lenyűgöző élmény volt például látni, hogy milyen élethű szobrok sorakoznak a vár emeleti szoborgyűjteményében — betonból.

Köszönet illeti a Magyar Geofizikusokért Alapítványt: anyagi támogatása révén évek óta lehetővé válik a szeniorok tanulmányi kirándulásainak megrendezése.

A tanulmányi kirándulás előkészítő munkájában STOMFAI Róbert és NEMESI László tagtársak szereztek érdemeket. BELLÉR Éva ügyvezető titkár rátermett szervezőmunkával támogatta a Szeniorok Bizottságát. VIDA Zsolt tagtársunk remek fényképpel egészítette ki a beszámolót. Mindannyiuk közreműködését hálásan köszöni a Szeniorok Bizottsága.

Aczél Etelka,
a Szeniorok Bizottságának elnöke



MEGHÍVÓ

Az MTA Geofizikai Tudományos Bizottsága, a Magyar Geofizikusok Egyesülete és az ELGI közös rendezésében, váratlanul felmerült egyeztetési problémák miatt későbbi időpontban,

2007. január 15-én (hétfőn) 10 órától
az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet konferenciatermében
(1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.)
kerül sor a

Geofizikai OTKA projektek IV. seregszemléje

című egész napos rendezvényre, amelyre tisztelettel várjuk:

DOBRÓKA Mihály DSc.
az MTA Geofizikai Tudományos Bizottság
elnöke

FANCSIK Tamás CSc.
az MTA Geofizikai Tudományos Bizottság
titkára

HEGYBÍRÓ Zsuzsanna
a Magyar Geofizikusok Egyesületének
elnöke

BODOKY Tamás CSc.
Az MGE Tudományos és Oktatási Bizottság
elnöke

A POSZTERBEMUTATÓN SZEREPLŐ OTKA PÁLYÁZATOK

minden témáról 5 perces figyelemfelkeltő előadás hangzik el

Kovács Péter: A magnetoszféra-napszél rendszer dinamikájának makroszkopikus vizsgálata geomágneses idősorok felhasználásával

Márton Péter: Környezeti hatások kutatása a vasszulfid tartalmú üledékes kőzetek mágneses tulajdonságai alapján

Verő József: Magnetoszféra- és bolygóközi tér-kutatás pulzációkkal. Részfeladat kerül bemutatásra —

Heilig Balázs: Az 1999. augusztus 11-i napfogyatkozás geomágneses hatása

Dobróka Mihály: Laterálisan inhomogén felszín közeli szerkezetek vizsgálata vezetett hullám diszperziós adatok inverziójával

Sátori Gabriella: A Schumann-rezonanciák összefüggése a globális éghajlattal

Mártonné Szalay Emőke: Bádeni utáni vízszintes mozgások a Kárpát-medencében, komplex paleomágneses és mikrotektonikai tanulmány

Lenkey László: A magyarországi neogén vulkáni kőzetek hőtermelésének vizsgálata

Horváth Ferenc: A Pannon-medence jelenkori geodinamikájának atlasza: Euro-konform térképsorozat és magyarázó — előadó **Dombrádi Endre**

Ferencz Csaba: A szeizmikus eseményeket kísérő elektromágneses jelenségek vizsgálata — előadó **Lichtenberger János** vagy **Erhardtné Ferencz Orsolya**

Szarka László: Új irányzatok a magnetotellurikában

Ormos Tamás: Együttes (joint) inverziós módszerek fejlesztése felszín közeli 2-D és 3-D szerkezetek kutatására

Dövényi Péter: Geo-hidrodinamika: folyadékdinamikai jelenségek a Föld belsejében — előadó **Galsa Attila**

Kis Károly: Az Ørsted mesterséges hold mágneses mérési adatainak feldolgozása és értelmezése

Szeidovitz Győző: A Kárpát-medence jelenkori és paleorengéseinek komplex vizsgálata — társelőadó: **Gribovszki Katalin**

Scholtz Péter: Megnövelt térbeli mintavételezésű szeizmikus reflexiós mérések feldolgozása

Verő József: *GGKI tudományos iskola:* Földi elektromágnesség



Geomágneses pulzációk, a bolygóközi tér, a magnetoszféra és az ionoszféra az 1999. augusztus 11-i napfogyatkozás idején

VERŐ JÓZSEF¹ (témavezető), BENCZE PÁL¹, CSONTOS ANDRÁS¹, HEILIG BALÁZS¹,
SZENDRŐI JUDIT¹, ZIEGER BERTALAN¹

OTKA nyilvántartási szám: T 032173 (Magnetoszféra- és bolygóközitér-kutatás pulzációkkal, 2000–2002),
valamint
TS 408048 (Földi elektromágnesség, 2002–2004)

J. VERŐ, P. BENCZE, A. CSONTOS, B. HEILIG, J. SZENDRŐI, B. ZIEGER: Geomagnetic pulsations, interplanetary space, magnetosphere and ionosphere during the 11. 08. 1999 solar eclipse

The solar eclipse on 11. 08. 1999 took place from a geomagnetic point of view at a most favourable area and time. Both from the shadow of the Moon and from adjacent regions, many geomagnetic and ionospheric data could be collected together with interplanetary space data (satellite WIND). Geomagnetic pulsations revealed significant changes in frequency, amplitude and polarisation. The results are interpreted in terms of interplanetary and magnetospheric-ionospheric conditions. The amplitude decrease is supposed to be due to a switch-off of field line resonance (FLR).

Az 1999. augusztus 11-i napfogyatkozás geomágneses szempontból kivételesen kedvező helyen és időben játszódott le. Az árnyék Közép-Európán söpört végig, ahol viszonylag sok geomágneses obszervatórium működik, és japán, német, valamint magyar–amerikai csoportok létesítettek ideiglenes állomásokat is. Ugyancsak hozzáférhető több ionoszféra-szondázó állomás adatai. A bolygóközi térre vonatkozó adatokat a WIND mesterséges bolygó szolgáltatja. Ezeknek az adatoknak az összegyűjtése meglehetősen sokáig elhúzódott. Az értelmezés körül hosszadalmas vita bontakozott ki. A fenti két ok miatt az eredményeket ismertető tanulmány csak 2007 elején jelenhet meg.

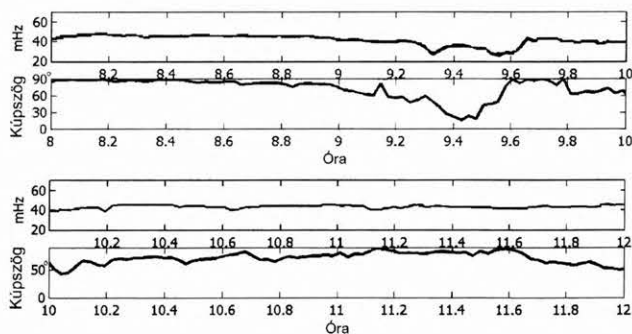
Az adatok összegyűjtésében, feldolgozásában és értelmezésében német részről H. LÜHR professzor, japán részről K. YUMOTO és Y. TANAKA, cseh részről J. STŘEŠTÍK vett részt.

1. Bolygóközi tér

Ahhoz, hogy az észlelt hatásokat egyértelműen a napfogyatkozáshoz lehessen rendelni, ismernünk kell a bolygóközi tér állapotát, pontosabban azt, hogy a napfogyatkozás idején történt-e ott olyan változás, amely befolyásolhatta a Pc3 típusú, 15–45 s periódusú geomágneses pulzációk paramétereit. A bolygóközi térre vonatkozó adatokat egyrészt a WIND mesterséges hold időben a terjedési időnek megfelelően eltolt adatai szolgáltatták, másrészt pedig következtetni lehet rájuk az UW (Upstream Waves) típusú pulzációk periódusa alapján. Az UW pulzációk ugyanis a magnetoszféra előtti bolygóközi térben keletkeznek, és periódusuk a bolygóközi térben lévő mágnesér térerősségével van fordított arányban. Ez a periódus a magnetoszférán át való terjedés során sem módosul. Emiatt az UW jelek periódusa nem függ az észlelő állomás (geomágneses) szélességétől. Különböző szélességen fekvő állomások pulzációinak koherenciája így az UW periódusánál a legszorosabb.

A pulzációk tevékenységét befolyásolja a napszél sebessége, valamint a bolygóközi mágnesér kúpszöge (a tér irányának a Nap–Föld vonallal bezárt szöge).

A 1. ábra mutatja az UW jelek alapján számított várt periódus, illetve a kúpszög értékét a napfogyatkozás körüli időszakban. Részletes elemzés alapján az európai napfogyatkozás időtartama alatt (0900–1200 UT) nem történt olyan változás ezekben a paraméterekben, amely különösebben befolyásolta volna a geomágneses pulzációk tevékenységét. A várt és észlelt UW periódusok nagyjából megegyeznek, a kúpszög értéke többnyire 45°-nál nagyobb. Ennek a kedvezőtlen értéknek dacára az UW megjelenése egyértelműen kimutatható.



1. ábra. A bolygóközi tér, illetve a napszél hatása a Föld felszínén észlelt pulzációkra. A két felső csík a 0800 és 1000, a két alsó 1000 és 1200 UT között mutatja a változásokat. Mindkét szakasz felső részén az öt állomás keresztkorrelációs függvénye alapján meghatározott frekvencia szerepel. Az alsó részen a kúpszög értéke látható WIND mérések alapján

Fig. 1. Effect of the interplanetary space and of the solar wind, respectively on geomagnetic pulsations. The top two curves show changes in the interval 0800–1000 UT, the bottom two those during 1000–1200 UT. In both cases the top curve represents pulsation frequencies computed with the help of cross-correlation functions of pulsation data from many stations. The bottom curves show the cone angle based on WIND measurements

¹ MTA GGKI, H-9401 Sopron, Pf. 5

2. Ionoszféra

A napfogyatkozás az ionoszféra szempontjából azt jelenti, hogy az ionoszférát alkotó ionok és elektronok keletkezéséhez vezető ionizáló sugárzás, a Nap elektromágneses sugárzása részben, vagy majdnem teljesen megszűnik, éjszakai állapotnak megfelelő körülmények alakulnak ki. Ennek következtében az elektron-, illetve ionsűrűség jól észlelhető csökkenést mutat. Az elektronsűrűséggel arányos mennyiségek a Nagycenki Széchenyi István Geofizikai Observatóriumban az ionoszféra rádióhullámok függőleges beeséssel történő szondázása útján meghatározhatók. Ezek a mennyiségek a szondázás eredményeként kapott ionogramokról olvashatók le. Az ionizáló sugárzás szelektív abszorpciója következtében az ionoszférában kialakuló rétegződések kritikus frekvenciája (foE, foF1, foF2) a rétegek maximális elektronsűrűségével arányos.

A 2. ábrán az foE és foF1 kritikus frekvenciák, illetve az ezeknek megfelelő elektronsűrűség változását látjuk a napfogyatkozás idején. Nagycenken az F2 réteg elektronsűrűsége alig változott, ami annak tulajdonítható, hogy az obszervatórium a totalitás zónájába esett. Az E rétegben a közvetlenül a napfogyatkozás előtt észlelt és a minimális elektronsűrűség hányadosa 2,6 volt. A totalitás zónájától északra és délre, nagyrészt hasonló földrajzi hosszúságon fekvő ionoszféra állomások mérési adatai alapján az ionoszférában a napfogyatkozás hatása a totalitás zónájára merőleges irányban északra és délre mintegy 2600 km volt. A totalitás zónájának az irányában ez a távolság ~ 3300 km volt. A napfogyatkozás hatásának az időtartama Nagycenken az E rétegben 2 óra és 46 perc, a maximum időpontja 10 óra 47 perckor (UT) volt észlelhető. A mérési adatok elemzése arra enged következtetni, hogy a napfogyatkozás hatása az ionoszférában nemcsak az ionizáló sugárzás változásával függ össze, hanem annak kialakulásában dinamikai (áramlási) folyamatoknak is szerepük van.

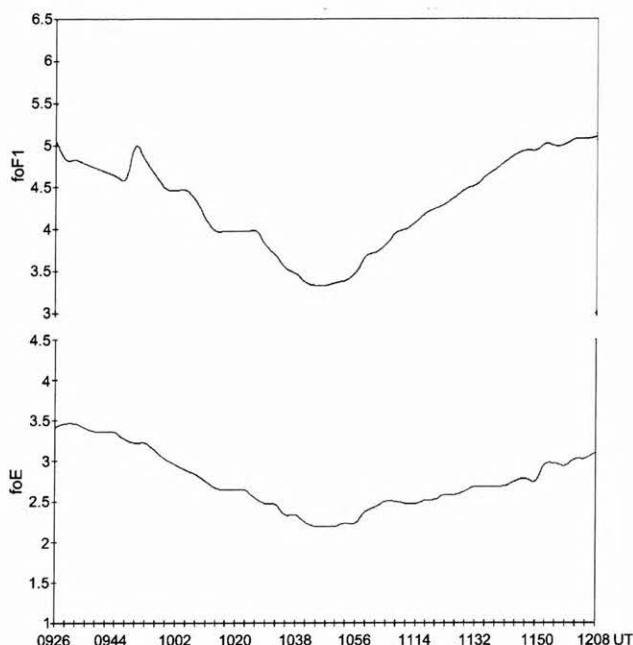
3. A geomágneses pulzációk tevékenysége a napfogyatkozás alatt

Abból a többé-kevésbé bizonyított feltevésből indultunk ki, hogy a Pc3 pulzációk kétfajta jel keveredéséből állnak. Az egyik a már említett UW. Ezek a jelek a magnetoszférában keveset módosulnak, de a felszínen észlelhető polarizációjukat az ionoszféra erősen befolyásolja. A polarizáció változása az észlelt, megváltozott ionoszféra alatt alig befolyásolja a jelek amplitúdóját.

A másik típus az erővonal rezonancia (Field Line Resonance, FLR) az UW által gerjesztve a magnetoszférában alakul ki. A rezonancia periódusát az erővonal hossza, a mágneses térerősség és az erővonal menti töltött részecskesűrűség határozza meg. Az ionoszférában csökkenő töltött részecskesűrűség, és felfelé terjedő hatása miatt a rezonancia periódusa a napfogyatkozás alatt megváltozhat. Ennek következtében a rezonancia — legalábbis egy időre — leáll. Az ebből eredő amplitúdócsökkenésnek a teljesség sávjában kell legnagyobbak lennie, és a csökkenésnek együtt kell mozognia az árnyékfolttal.

A mért adatok alapján a napfogyatkozás ideje alatt valóban bekövetkezett amplitúdócsökkenés, de ez még nem bizonyítja, hogy ez a csökkenés a napfogyatkozás eredménye, hiszen hasonló események nem ritkák, pl. a napfo-

gyatkozás előtt néhány órával is előfordult. A FLR jellegű pulzációk tipikus csomagszerű megjelenése a teljes fogyatkozás alatt ugyan eltűnt, de ez még nem elegendő bizonyíték, ehhez az említett két törvényszerűséget kell ki mutatnunk.



2. ábra. Az elektronsűrűséggel arányos foE és foF1 frekvencia-paraméterek változása a napfogyatkozás időszakában a Nagycenki Geofizikai Observatóriumban függőlegesen kisugárzott rádióhullámokkal végzett ionoszféra-szondázás alapján

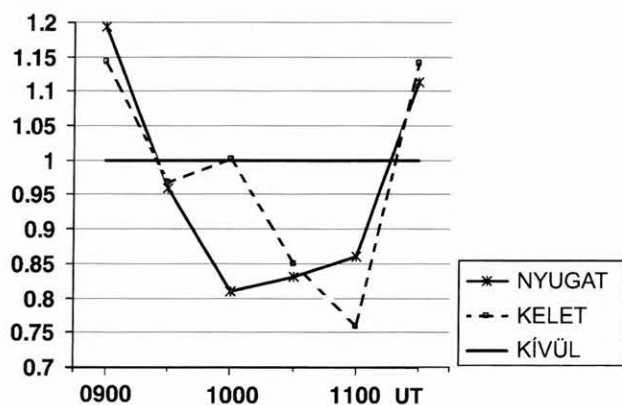
Fig. 2. Variations of the frequency parameters foE and foF1 being proportional with the ionospheric electron density as measured at the Nagycenki Geophysical Observatory based on soundings by vertically transmitted radio waves

A Nagycenki Observatórium a teljesség sávjában helyezkedett el, ezért ennek adatait használtuk fel más állomásokkal való összehasonlításban. A dél-csehországi Budkov Observatórium esetében a fogyatkozás mértéke 98% volt. Azt tapasztaltuk, hogy a két állomáson észlelt pulzációk amplitúdójának aránya a nagycenki teljesség bekövetkezésekor jelentősen megváltozott, mégpedig úgy, hogy a nagycenki amplitúdók a budkoviakhoz képest is csökkentek. Ennek az lehet a magyarázata, hogy mindaddig, amíg a teljes árnyék el nem éri Nagycenket, az elektromágneses ionizáló sugárzás szintje a két állomáson alig tér el egymástól, míg a teljesség időpontjában Nagycenken ilyen sugárzás nincsen, Budkovban pedig, ha kevés is, de van.

Délnyugat-Angliával, ahol az árnyék elérte Európát, nehéz volt összehasonlítást végezni, mert itt az FLR periódusa sokkal hosszabb, mint az árnyék közép-európai szakaszán. A déli féltekén lévő konjugált terület közelében (Dél-Afrika) ugyancsak tapasztalható volt amplitúdócsökkenés, mégpedig úgy, hogy annak időbeli menete leginkább annak az állomásnak adatsorához hasonlított, amely a dél-afrikai állomás konjugált pontjához legközelebb esett.

Az összes rendelkezésre álló állomást 3 csoportra osztottuk: egy-egy, a nagymérvű napfogyatkozás nyugati és keleti részén fekvő, valamint egy távoli csoportra. A két előbbi csoport amplitúdóváltozását a távoli csoportra vo-

natkoztattuk. Az eredmény a 3. ábrán látható. A nyugati csoportban az amplitúdócsökkenés korábban következik be, mint a keletiben, az árnyék mozgásának megfelelően. A csökkenés mértékével kapcsolatban figyelembe kell venni, hogy sem a napfogyatkozás sávjában lévő állomások nem esnek mind a teljesség zónájába, sem a távoli állomások nem mentesek a részleges napfogyatkozástól. Ennek figyelembevételével becslésünk szerint az amplitúdócsökkenés mértéke mintegy 1/3 faktorral fejezhető ki, vagyis durván megegyezik az UW jeleknek az FLR mechanizmus által történő erősítésével. Az FLR jelek frekvenciájának növekedését is ki lehetett mutatni a napfogyatkozás ideje alatt. A változás mértéke megfelelt az elméletileg várható értéknek.



3. ábra. A pulzációk napfogyatkozás okozta amplitúdócsökkenésének mozgása. A nyugati és a keleti csoport amplitúdóját távoli „kívül” csoport amplitúdójára vonatkoztattuk. A csoportok szétválasztása meglehetősen önkényes

Fig. 3. Movement of the amplitude decrease due to the solar eclipse. Amplitudes in the Western (“Nyugat”) and Eastern (“Kelet”) groups of stations are referred to the average of distance (“kívül”) stations. Stations are rather arbitrarily distributed into groups

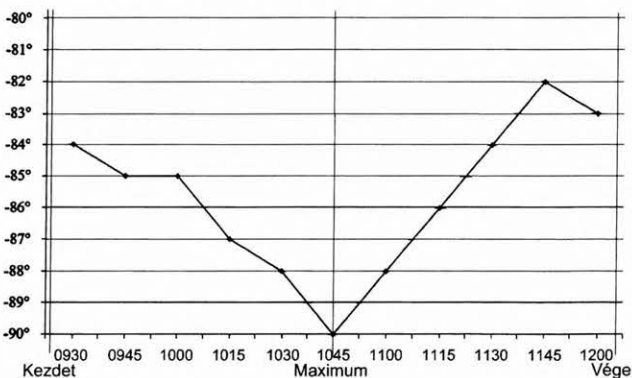
4. A geomágneses pulzációk polarizációjának változása a napfogyatkozás alatt

A polarizáció a geomágneses pulzációk jellemzésére használt paraméter (az amplitúdó és a periódus mellett). Mivel a pulzációk erővonal rezonanciára visszavezethető (FLR) típusának paraméterei a plazmaszféra elektronsűrűségétől is függenek, a plazmaszférában a plazmasűrűség alakulását az ionoszféra szabályozza, kézenfekvő volt az FLR típusú pulzációk polarizációjának a napfogyatkozás hatására létrejövő változásával is foglalkozni.

A polarizáció két paraméterrel jellemezhető, az egyik az ellipticitást meghatározó β tényező, a másik a polarizációs ellipszis elfordulásának a mértéke (ξ). Az ionoszférának

az utóbbi paraméterrel van kapcsolata. Az említett paraméterek egyébként a két komplex elektromos (E_x , E_z), vagy a mágneses komponensek (H , D) segítségével számíthatók ki. β előjele határozza meg a polarizáció irányát, amely -45° és 45° között változhat. Negatív β az óramutató járásával ellentétes, míg pozitív β az óramutató járásával egyező polarizációt jelez. Az elfordulás mértéke (ξ) -90° és 90° között változhat, amely az elektromos komponensek esetében az észak–déli iránynak felel meg. A mágneses komponensek polarizációs ellipszise az elektromos komponensek polarizációs ellipsziséhez viszonyítva az óramutató járásával ellentétes irányban mintegy 90° -kal elfordított helyzetben van.

Mivel a pulzációk az ionoszférán keresztül érik el a Föld felszínét, az ionoszféra a polarizációs ellipszis elfordulását idézi elő. Az elfordulás mértéke, ha az ionoszférát felülről nézzük, mintegy 90° az óramutató járásával ellentétes irányban. A polarizációs ellipszis elfordulását az egész ionoszféra hozza létre, ezért az elfordulást okozó Pedersen (az elektromos tér irányában jelentkező) és Hall (mind az elektromos, mind a mágneses térre merőleges) vezetőképességnek az ionoszféra vastagságára integrált értékére van szükség. A közel 90° -os elfordulás úgy jön létre, hogy a pulzációknak felülről az ionoszférába érkező nyugat-keleti irányú mágneses összetevőjét a Pedersen áram mágneses tere árnyékolja, és a Föld felszínén a Hall áram mágneses terét észleljük a pulzációk dél–északi mágneses komponenseként. Ily módon a polarizációs ellipszis 90° -kal elfordul az óramutató járásával ellentétes irányban. A napfogyatkozás idejére kiszámított integrált Pedersen és Hall vezetőképességek alapján a napfogyatkozás hatására a polarizációs ellipszis mintegy 6° – 8° -kal fordul el az óramutató járásával ellentétes irányban. Ez az ionoszféra adatokból levezetett érték jól egyezik a tellurikus mérésekből levezetett elfordulással (4. ábra).



4. ábra. FLR típusú pulzációk polarizációs ellipszisének az elfordulása a napfogyatkozás időszakában ionoszféra adatok alapján

Fig. 4. Rotation of the polarisation ellipse of FLR type pulsations due to ionospheric changes during the eclipse

A magyarországi neogén vulkáni kőzetek hőtermelésének vizsgálata

LENKEY LÁSZLÓ¹, SURÁNYI GERGELY¹

OTKA nyilvántartási szám: F 034873

241 kőzetminta urán-, tórium- és káliumkoncentrációját határoztuk meg laboratóriumban félvezető detektoros gamma-spektrometriával. A kőzetek hőtermelését a radioaktív elemek koncentrációjából számítottuk. A minták többsége mészkalkáli sorozatba tartozó neogén vulkáni kőzet és neogén alkáli bazalt volt. Kivételt képeztek a szarvaskői ofiolitok és néhány hidrotermálisan átalakult kőzet. Az ofiolitokban az U-, Th- és K-koncentráció rendre 0,04 ppm, 0,3 ppm és 0,07%. Hőtermelésük elhanyagolható ($0,04 \mu\text{W}/\text{m}^3$). Az alkáli bazaltok és andezitek U-, Th- és K-koncentrációi rendre 1,9 ppm, 9,1 ppm és 1,6%, amely megegyezik az átlagos kontinentális kéregre jellemző értékekkel. Tehát a hőtermelésük is átlagos ($1,4 \mu\text{W}/\text{m}^3$). A neogén alkáli bazaltokban található viszonylag magas U-, Th- és K-koncentráció arra utal, hogy képződésükkor a köpeny parciális olvadásának mértéke alacsony volt, és a nem kompatibilis radioaktív elemek az olvadéban dúsultak. A dácitok és riolitok esetén az U-, Th- és K-koncentráció rendre 3,7 ppm, 17,4 ppm és 3,3%. Tehát kb. kétszer annyi hő termelődik bennük ($2,7 \mu\text{W}/\text{m}^3$), mint az átlagos kontinentális kéregben. Azonban még ez az érték is nagyon alacsony, így a neogén vulkáni kőzetekben termelődő hő nem okoz hibahatáron túl kimutatható hőáram-anomáliát. A Keleti-Kárpátok vulkáni íve mentén tapasztalható magas hőáram egyértelműen a nemrég véget ért (20e év) vulkáni működés eredménye. A Nyugati-Kárpátok vulkáni íve mentén megfigyelt magas hőáram valószínűleg magas kéreg és/vagy köpeny litoszféra hőmérséklet következménye.

L. LENKEY, G. SURÁNYI: Study of heat production of Neogene volcanic rocks from Hungary

U, Th and K concentrations of 241 rock samples were determined in laboratory by gamma spectrometry using HPGe detector. Heat production of rocks was calculated from the concentrations of radioactive elements. Samples were collected from neogene calc-alkaline volcanic rocks and neogene alkaline basalts. Exceptions are the ophiolites from Szarvaskő and some hydrothermally altered rocks. U, Th and K concentrations in ophiolites are 0,04 ppm, 0,3 ppm and 0,07%, respectively. The heat production of ophiolites can be neglected ($0,04 \mu\text{W}/\text{m}^3$). U, Th and K concentrations in alkaline basalts and andesites are 1,9 ppm, 9,1 ppm and 1,6%, respectively, which are equal to the average concentrations in the continental crust. Therefore, their heat production is average ($1,4 \mu\text{W}/\text{m}^3$). The high concentrations of radioactive elements (compared to e.g. ophiolites) in alkaline basalts can be explained by low degree of partial melting. During melting the incompatible elements enriched in the melt. Dacites and rhyolites contain U, Th and K in concentrations 3,7 ppm, 17,4 ppm and 3,3%, respectively. Their heat production ($2,7 \mu\text{W}/\text{m}^3$) is about double of the continental crust. However, this value is still low to cause detectable heat flow anomalies above the error limit. The high heat flow along the volcanic chain in the Eastern Carpathians is caused by the recent volcanism (ceased 20 ka ago). The high heat flow along the volcanic chain in the Western Carpathians is probably generated by high temperatures in the lower crust and/or upper mantle.

Bevezetés

A Föld felszínén mérhető hőáramsűrűség — a továbbiakban hőáram — a földköpenyből a kéregbe lépő hőáramból és a kéregben radioaktív bomlással termelődő hőből tevődik össze, amennyiben eltekintünk a kéregben helyenként előforduló advektív hőtranszporttól, amely módosítja a kéregben a hőmérséklet-eloszlást (pl. vulkáni intrúziók, rétegvízáramlás). A kőzetek hőtermelését a bennük található urán, tórium és kálium koncentrációja határozza meg [RYBACH 1988]. A magyarországi kőzetek hőtermeléséről keveset tudunk. A 60-as, 70-es években az uránkutatáshoz kapcsolódóan végeztek légigammaméréseket [ZELENKA 2000], ezek azonban nincsenek (mint utólag kiderült) abszolút értékre helyesen kalibrálva. A MÉV kutatói felszíni kőzetmintákat is gyűjtöttek és laboratóriumi méréseket is végeztek, azonban csak azokat a kőzeteket mérték, melyekben az U és Th koncentrációja maga-

sabb volt az átlagnál. A jelen kutatás keretében a magyarországi neogén vulkáni kőzeteket vizsgáltuk, mert a magmás és vulkáni kőzetekben — különösen a szilíciumban gazdag kőzetekben — magas a radioaktív elemek koncentrációja [CASTOR, HENRY 2000; CHIOZZI et al. 2003] és kíváncsiak voltunk, hogy az ezekben a kőzetekben termelődő hő milyen mértékben járul hozzá a vulkáni ív mentén megfigyelhető magasabb hőáramhoz (1. ábra). 241 kőzetminta radioaktív elemtartalmát mértük meg és számítottuk ki a hőtermelését. A minták többsége neogén vulkáni kőzet volt, de előfordult Vardar-óceáni aljzatból származó ofiolit (bazaltláva és amfibolit Szarvaskőről), valamint néhány üledékes és hidrotermálisan átalakult kőzet is.

Mérési módszer

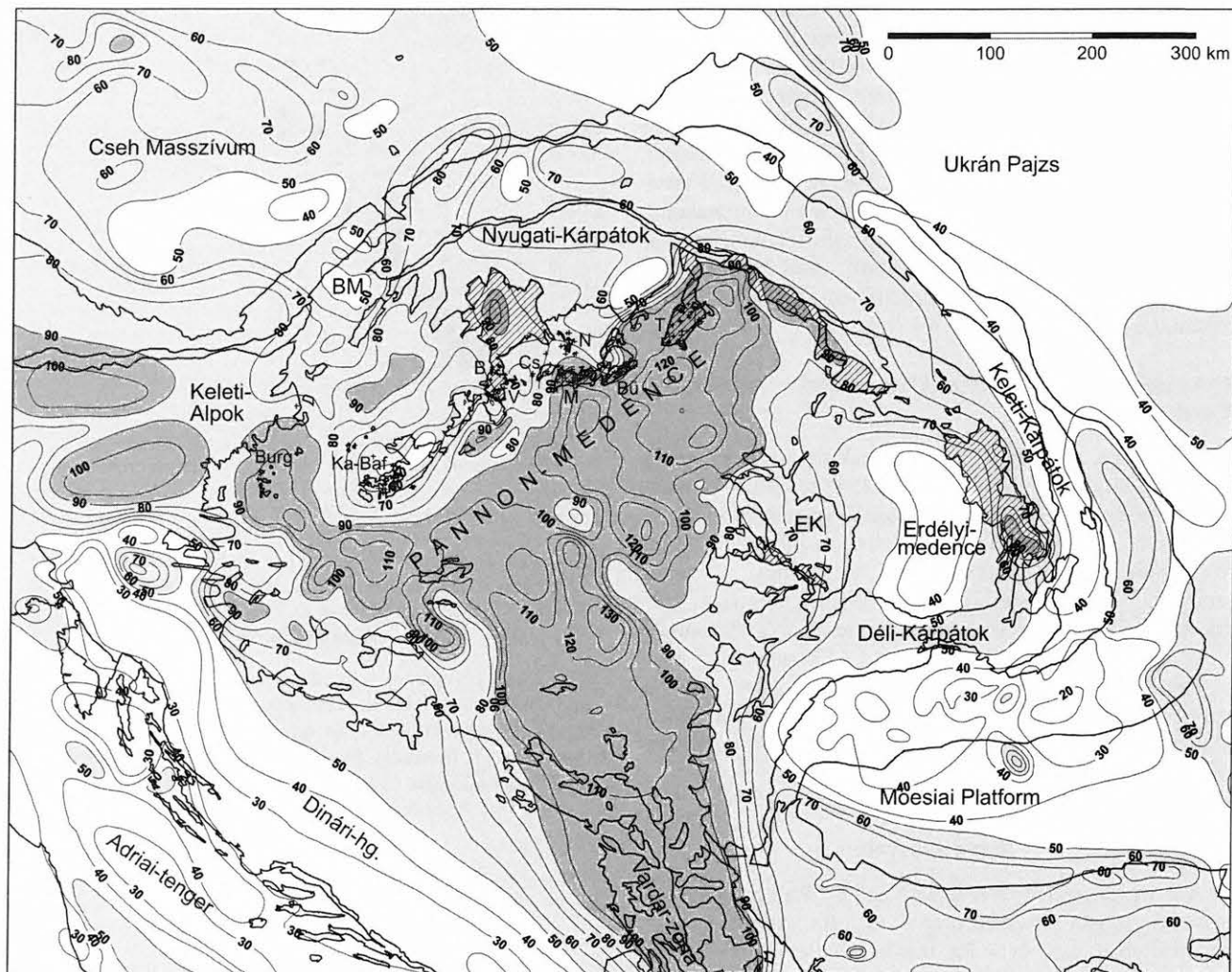
A kőzetminták radioaktív elemtartalmát félvezető detektoros gamma-spektrometriával (HPGe detektor, CANBERRA) határoztuk meg. A kőzetmintákat porítottuk, majd 640 cm^3 -es, légmentesen záródó alumínium Marinelli edénybe töltöttük. A mintákat a mérés előtt 3 hétig pihen-

¹ MTA-ELTE Geológiai, Geofizikai és Űrtudományi Kutatócsoport, H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.

tettük, míg biztosan beállt a radon elillanása miatt meg-
bomlott radioaktív bomlási egyensúly. A mérőrendszert a
mintákkal azonos geometriájú, a Mecsekérc Rt. által készí-
tett egyensúlyi U, Th és K etalonokkal hitelesítettük. A
mérés és kiértékelés során az uránkoncentrációt az ^{235}U ,
valamint a ^{234}Th és a $^{234\text{m}}\text{Pa}$ vonalaiból határoztuk meg.
Meghatároztuk a Ra koncentrációját is a ^{226}Ra és leány-

elemeinek vonalaiból, melyet egyensúlyi urán-ekvivalens
(eUe) egységben adtunk meg.

Ellenőrzésként és összehasonlításként 18 mintát leméret-
tünk a Georadis s.r.o. (Geofizika Brno egykori radiometri-
ai részlegének) laboratóriumában. Az eredmények a szórá-
sokon belül megegyeznek az általunk kapott eredmények-
kel.



1. ábra. A Pannon-medencének és környékének hőárama [LENKEY et al. 2002 után]. A vastag vonalak a pre-neogén kőzetek kibúvásait, a flis és a molassz övet jelölik. A felszínen található neogén mészk-alkáli vulkáni kőzetek elterjedését sávozás jelöli. A mintavételi helyeket a kereszttek mutatják. Burg: Burgenland, Ka-Baf: Kisalföld–Balatonfelvidék, B: Börzsöny, V: Visegrádi-hg., Cs: Cserhát, N: Nógrád, M: Mátra, Bü: Bükkalja, T: Tokaj-hg. A térképen való jobb eligazodás végett még két nevet a térképre tettünk, BM: Bécsi-medence, EK: Erdélyi-középhegység

Fig. 1. Heat flow map of the Pannonian basin and the surrounding areas [after LENKEY et al. 2002]. Contour interval is 10 mW/m².

Thick lines denote the boundaries of the Carpathian molasse and flysch belts, the outcrop of the pre-Neogene rocks. Neogene calc-alkaline volcanic rocks on the surface are indicated by stripped area. Locations of samples are shown by crosses.

Burg: Burgenland, Ka-Baf: Little Hungarian Plain–Balaton Highland, B: Börzsöny Mts., V: Visegrádi Mts., Cs: Cserhát Hills, N: Nógrád Hills, M: Mátra Mts., Bü: Southern slopes of Bükk Mts., T: Tokaj Mts. For better orientation in the map we put two more geographical names BM: Vienna basin, EK: Apuseni Mountains

Módszertani vizsgálatok

1) Az ^{238}U bomlási sorában egyensúlyban van-e az U és a Ra?

Alacsony U koncentrációknál ($U < 1$ ppm) a mért U-koncentráció kisebb, mint az egyensúlyi urán-ekvivalens Ra-koncentrációja. Ez valószínűleg abból fakad, hogy az

U-koncentráció meghatározása kevésbé pontos, mint a Ra-koncentráció meghatározása, mert az U meghatározásához használt izotópok alacsony energián sugároznak és a vonalak intenzitása alacsony. Ezért kis koncentrációk esetén az U-koncentráció valószínűleg alulhatározott. Ilyenkor bomlási egyensúlyt feltételezve az eUe Ra-koncentrációt kell elfogadni. Nagyobb U-koncentrációknál az ép kőzetek esetében az U és Ra koncentrációja hibahatáron belül meg-

egyezik. Azok a minták, melyekben az U/Ra arány szignifikánsan eltér 1-től, kivétel nélkül valamilyen átalakulást szenvedett kőzetből származnak.

2) Egy helyről (feltárás, hegyoldal, tanúhegy) származó azonos kőzetfajták U-, Th- és K-koncentrációja mennyire változik?

A kérdés eldöntésére több feltárásból szűrőpróbaszerűen vettünk kettő vagy több mintát, különösen akkor, ha a kőzetek valamilyen jellemzőjében, pl. színében, szövetségében eltérés mutatkozott. 23 ép kőzetmintapár (helyenként triplet) esetén az átlagos eltérés az U-, Th- és K-koncentrációiban rendre 0,4 ppm, 1,1 ppm és 0,4%-nak adódott. Ekkora „geológiai bizonytalanság” jellemzi a mérési eredményeket. A hidrotermálisan vagy egyéb módon átalakult kőzetek kis távolságon belül is sokat változhatnak, ezért az átalakult kőzeteket külön vizsgáltuk. Átalakult kőzetek esetén az U, Th és K koncentrációiban az átlagos eltérés rendre 0,8 ppm, 2,3 ppm és 1,6% volt.

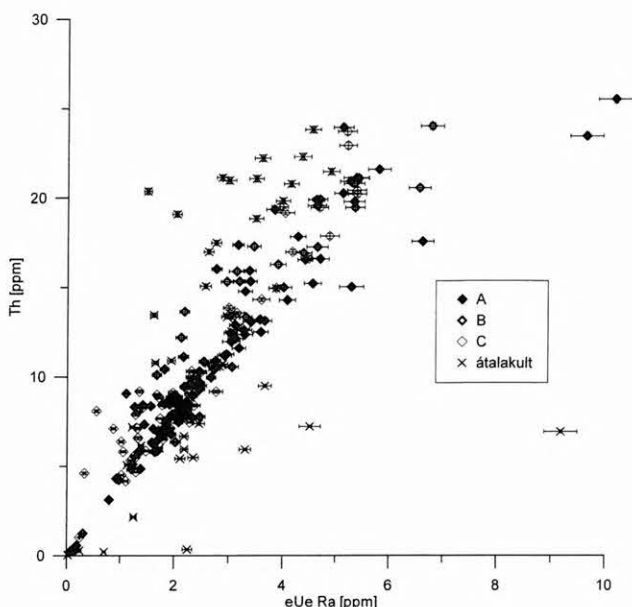
3) Az időjárásnak kitett kőzetekben változik-e az U-, Th- és K-koncentráció?

A mintákat „üdeségük” (időjárásnak kitettségük) szerint három osztályba soroltuk; A: működő kőfejtőből származó „friss” minta, B: felhagyott kőfejtőből származó minta, C: természetes feltárásból, sziklafalból származó minta. Mindegyik mintánál törekedtünk arra, hogy a minták szemmel láthatóan üdék legyenek. Minden mintában mérünk a csernobili balesetet követően a levegőből kiüledett ^{137}Cs aktivitáskoncentrációját is. A ^{137}Cs néhány B és C kategóriás mintában kimutathatósági határ felett volt, jelezve, hogy a csapadék a kőzetbe is beszivárgott. Megkülönböztettük még a hidrotermálisan átalakult kőzeteket (zeolitok, kvarcosodott kőzetek).

Eredmények

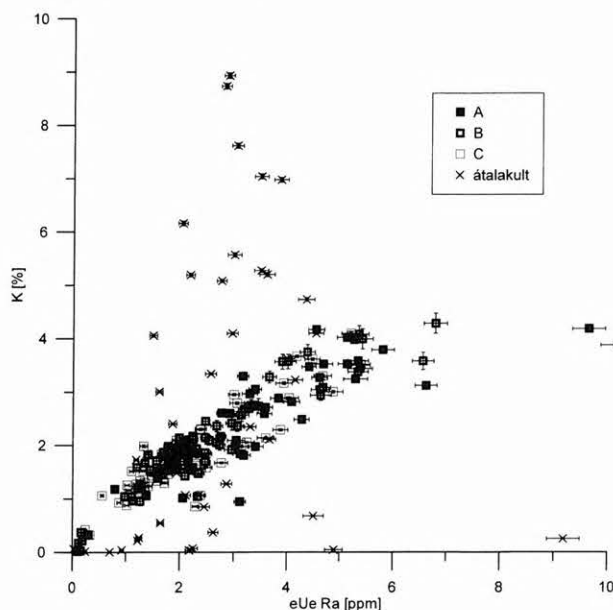
A 2. ábrán a Th és a K látható az eUe Ra függvényében. Mivel a vizsgált kőzetekben az U és a Ra átlagban bomlási egyensúlyban van, és a Ra mérési hibája kisebb, ezért a közvetlenül meghatározott U helyett az eUe Ra-t tekintettük az U koncentrációjának. Az ép vulkáni kőzetekben az eUe Ra-, Th- és K-koncentrációja közelítőleg egyenes arányban van egymással. Ugyanezt az összefüggést kapta CHIOZZI, PASQUALE, VERDOYA [2002] és CHIOZZI et al. [2003] a Lipari-szigetek vulkáni kőzeteinek vizsgálatakor, azzal az eltéréssel, hogy a Lipari-szigetek adataira illesztett egyenes meredeksége kisebb. A 2. ábra, valamint az adatokra illesztett egyenesek paraméterei szerint nincs lényeges különbség az A, B és C osztályokba tartozó kőzetek közt. Tehát ha egy kőzetminta üde, akkor lényegtelen, hogy a mintát egy működő kőfejtőből vagy az időjárásnak kitett sziklafalból gyűjtöttük. A lineáris trendtől némileg eltér a gleichenbergi trachandezit eUe Ra-, Th- és K-koncentrációja (legmagasabb eUe Ra-koncentrációjú utolsó 2 pont a 2. ábrán), mert az eUe Ra-koncentráció magasabb, mint a Th- és K-koncentráció alapján várható lenne. A lineáris trendtől eltérnek a hidrotermálisan vagy valamilyen más módon átalakult kőzetek. A Th-Ra diagramon az eltérés nem kiugró, sok átalakult kőzet Th-Ra-koncentrációja beleillik a trendbe, de a K-Ra diagramon az eltérés jelentős. A magas K-

koncentráció különösen jellemző a K-metaszomatizált kőzetekre (Károlyfalva-Rudabányácska környéke, Tokaj-hg.) [ZELENKA 2000], de vannak olyan kőzetek is, melyekből szinte teljesen eltávozott a K. Az üledékek, metamorfítok szintén kilógnak a lineáris trendből.



2a. ábra. Th-koncentráció az egyensúlyi urán-ekvivalens Ra-koncentráció függvényében. A: működő kőfejtő, B: felhagyott kőfejtő, C: természetes feltárás, X: hidrotermálisan v. más módon átalakult kőzetek

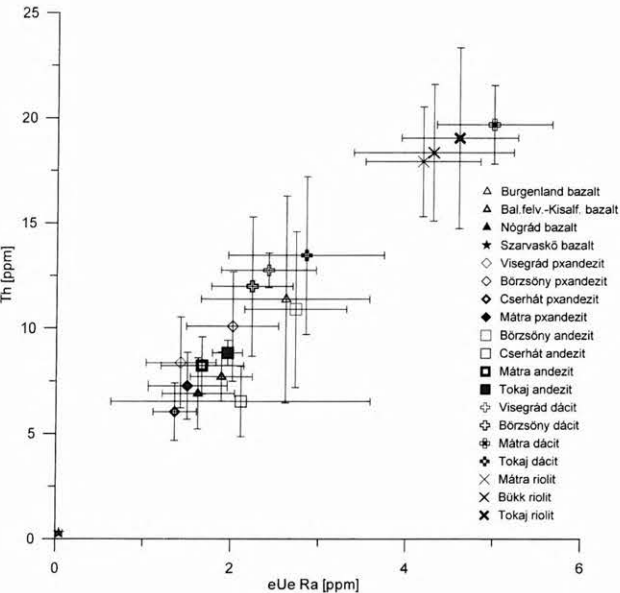
Fig. 2a. Th concentration as a function of equilibrium uranium-equivalent radium (eUe Ra) concentration. A, B and C are quality ranks of samples from the viewpoint of weathering. A: samples from a quarry in operation, B: samples from a quarry stopped operation few decades ago, C: samples from natural outcrops, X: altered rocks (e.g. hydrothermally altered, K-metasomatised rocks)



2b. ábra. K-koncentráció az egyensúlyi urán-ekvivalens Ra függvényében. A jelmagyarázatot lásd a 2a. ábránál

Fig. 2b. K concentration as a function of eUe Ra concentration. For explanation of symbols see Fig. 2a

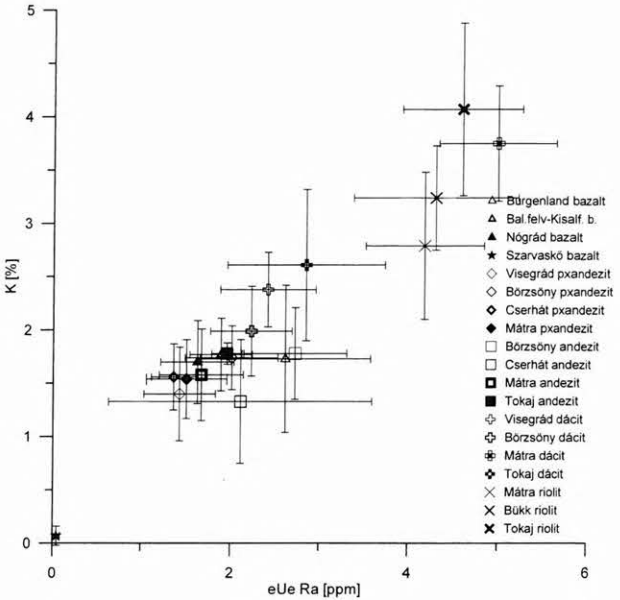
A 3. ábrán kőzetfajta és hegység szerinti bontásban mutatjuk be az eredményeket. A Th–Ra diagramon a növekvő koncentrációk irányában 4 csoportot lehet megkülönböztetni: 1) ofiolit sorozatba tartozó párnalávák és amfibolit, 2) alkáli-bazalt, piroxén-andezit, andezit csoport, 3) dácitok, 4) riolitok. A legszélesebb koncentrációtartományt érdekes módon a bazaltok ölelik fel. A legalacsonyabb koncentrációt az ofiolitokban lehet mérni, mert ezek az óceánközépi hátságánál a kimerült felső köpenyből keletkeztek. A Balaton-felvidéki, kisalföldi és nógrádi bazaltok Th- és Ra-koncentrációja megegyezik a piroxén-andezitekre és andezitekre jellemző értékkel. A legmagasabb koncentrációkat a burgenlandi bazaltokban mértük, melyeket Th- és Ra-tartalom szempontjából a dácit csoportba lehet sorolni. (Pl. a Gleichenbergtől D-re található bazaltra jellemző értékek; Th: 18 ppm, Ra: 3,8 ppm, K: 2,5%.) Kílógnak még az általános csoportbeosztásból a Börzsönyi andezitek, melyek közelebb vannak a dácit csoporthoz, mint az andezit csoporthoz és a mátrai dácitok, melyek a riolit csoportba tartoznak és azon belül is a legmagasabb átlagos Th- és Ra-koncentrációval jellemezhetők.



3a. ábra. A neogén vulkáni kőzetek (kivéve Szarvaskő) Th és eUe Ra koncentráció átlagai hegység szerinti bontásban

Fig. 3a. Average Th and eUe Ra concentrations of different rocks types of the different regions. For location of the regions see Fig. 1

A K–Ra diagramon a csoportok között az elkülönülés nem olyan éles. K-koncentráció szempontjából folyamatos az átmenet a bazaltok, piroxén-andezitek, andezitek, dácitok és riolitok közt. A riolitok csak a Ra-koncentráció alapján különülnek el a dácitoktól. Az alkáli-bazaltok egy-egy 1,75% K-koncentrációval jellemezhetők, amely közel van az andezitekre jellemző értékhez és átmenetet képez a piroxén-andezitekre és a dácitokra jellemző értékek között. Természetesen a párnalávák jól elkülönülnek a K–Ra diagramon is.



3b. ábra. A neogén vulkáni kőzetek (kivéve Szarvaskő) K és eUe Ra-koncentráció átlagai hegység szerinti bontásban

Fig. 3b. Average K and eUe Ra concentrations of different rocks types of the different regions. For location of the regions see Fig. 1

A különböző neogén vulkáni kőzetekre jellemző átlagos U-, Th- és K-koncentrációkból kiszámoltuk a kőzetek hőtermelését (1. táblázat). Az átlagos kontinentális hőáram a kőzetek hőtermelése miatt akkor növekszik meg, mikor a kőzetek hőtermelése nagyobb, mint az átlagos kontinentális kéregé [UNSCEAR 2000]. A táblázatból látható, hogy a neogén vulkáni kőzetek közül csak a dácitok és riolitok hőtermelése nagyobb az átlagos kontinentális kéregre jellemző értéknél, de nem számottevő mértékben. Kiszámoltuk azt is, hogy 10 mW/m² többlet hőáramhoz kb. 10 km vastag dácit vagy riolit réteg kell. A Pannon-medencében nem fordul elő dácit vagy riolit ilyen vastagságban, ezért kijelenthetjük, hogy a neogén vulkáni kőzetek hőtermelése nem okoz hőáram anomáliát.

	A [μW/m ³]	Hiba [μW/m ³]	ΔA [μW/m ³]	D [km]
bazalt	1,36	0,2	-	-
andezit	1,35	0,3	-	-
dácit	2,2	0,4	0,8	12,4
riolit	2,7	0,4	1,3	7,8
kont. kéreg	1,4			

1. táblázat. A Magyarországon található neogén vulkáni kőzetek átlagos hőtermelése. A: térfogati hőtermelés, ΔA: a kontinentális kéreghez viszonyított többlet hőtermelés, D: annak a rétegnek a vastagsága, amely 10 mW/m² hőáram többletet okoz

Table 1. Average heat production of Neogene volcanic rocks in Hungary. A: volumetric heat production, hiba: standard deviation, ΔA: surplus heat production relative to the average continental crust, D: thickness of a layer, which results in surplus heat flow of 10 mW/m², kont. kéreg: average continental crust

A Kárpátok belső oldalán található neogén vulkán ív mentén megfigyelhető (10–30 mW/m²) hőáram-anomáliát

ezért valószínűleg a magas alsókéreg- vagy köpenyhőmérséklet okozza. A magas hőmérsékletet ugyanaz a geodinamikai folyamat (szubdukció, extenzió, a lebukott lemez leválása) eredményezhette, amely a vulkáni tevékenységet is inicializálta, és ez a magas hőmérséklet még nem csengett le teljesen.

Következtetések

- 1) 241 kőzetminta gamma-spektrometriás mérésével átfogó képet kaptunk a hazai neogén vulkáni kőzetek U-, Th- és K-koncentrációjának eloszlásáról. A vulkáni kőzetekben az U, Th és K közelítőleg egyenes arányban áll egymással. A Th/U arány 4,2, ami összhangban van az átlagos kontinentális kéregre vonatkozó becsléssel ($\text{Th/U}=3-5$), [PAUL, WHITE, TURCOTTE 2003]. A működő kőfejtőből, felhagyott kőfejtőből és természetes feltárásból származó kőzetek ugyanezt a lineáris trendet követik. Tehát az időjárás nincs hatással a koncentrációkra, feltéve, hogy üde mintát sikerült gyűjteni. A hidrotermálisan vagy más módon átalakult kőzetek, üledékes és metamorf kőzetek nem illeszkednek ebbe a lineáris trendbe.
- 2) Az U, Th és K koncentrációja a hazai neogén bazaltokban ugyanannyi, mint az andezitekben. Ez arra utal, hogy a bazaltok képződésekor ezek az elemek az olvadéban dúsultak és a parciális olvadás mértéke alacsony volt. Az andezitek és dácitok radioaktív izotópjainak koncentrációja közel azonos a Lipari-szigetek hasonló kőzeteiben mért koncentrációkkal [CHIOZZI, PASQUALE, VERDOYA 2002]. A riolitok U-, Th- és K-koncentrációja az Égei-tengeri riolitokéra hasonlít [ZELLMER, TURNER, HAWKESWARTH 2000], bár más területekkel (Lipari-szigetek, Ny-USA) összehasonlítva a koncentráció alacsony.
- 3) Az U-, Th- és K-koncentrációból számított hőtermelés a bazaltok és andezitek esetén megegyezik az átlagos kontinentális felső-kéreg hőtermelésével, dácitok és riolitok esetében meghaladja azt. Azonban dácit és riolit Magyarországon nem fordul elő nagy vastagságban, így a hazai neogén vulkáni kőzetek az átlagos kontinentális kéregnél nagyobb mértékben nem járulnak hozzá a felszíni hőáramhoz. A Nyugati-Kárpátok belső vulkáni íve mentén megfigyelhető magasabb hőáram valószínűleg az alsó kéregben vagy köpenyben uralkodó magasabb hőmérsékletnek a következménye. A Keleti-Kárpátok vulkáni ívének magasabb hőárama a fiatal vulkáni működés és az utóvulkáni tevékenység eredménye.
- 4) A tokaji és mátrai mérési eredményeinket fel lehet használni a 60-as években készült légigamma-mérések kalibrálására. Ezáltal nagyobb területeken ismerjük meg a kőzetek és a talaj radioaktív izotóp koncentrációját, amiből pl. számítható a lakosságot a kőzetekből és a talajból érő sugárterhelés mértéke. Az U-koncentráció

adatokat talajminták mérésével kiegészítve a későbbiekben fel lehet használni a lakóterekben felgyülemelő radon koncentrációjával történő összehasonlításra.

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük HARANGI Szabolcsnak (ELTE), JÓZSA Sándornak (ELTE), MOLNÁR Ferencnek (ELTE), SZABÓ Csabának (ELTE) és ZELENKA Tibornak (MÁFI) a mintavételi helyek kijelölésében és a kőzetek meghatározásában nyújtott segítséget. Köszönjük KISS Jánosnak (ELGI), hogy rendelkezésünkre bocsátotta a tokaji légigamma-mérésekből készült térképet. Köszönet illeti az OTKA programot a kutatás támogatásáért (OTKA F034873).

HIVATKOZÁSOK

- CASTOR S. B., HENRY C. D. 2000: Geology, geochemistry, and origin of volcanic rock-hosted uranium deposits in northwestern Nevada and southeastern Oregon, USA. *Ore Geol. Rev.* 16, 1–40
- CHIOZZI P., PASQUALE V., VERDOYA M. 2002: Heat from radioactive elements in young volcanics by γ -ray spectrometry. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 119, 205–214
- CHIOZZI P., PASQUALE V., VERDOYA M., MINATO S. 2003: Gamma-ray activity in the volcanic islands of the Southern Tyrrhenian Sea. *Journal of Environmental Radioactivity* 67, 235–246
- LENKEY L., DÖVÉNYI P., HORVÁTH F., CLOETINGH S. A. P. L. 2002: Geothermics of the Pannonian basin and its bearing on the neotectonics. In: CLOETINGH S. A. P. L., HORVÁTH F., BADA G., LANKREIJER A. C. (Eds): *Neotectonics and surface processes: the Pannonian basin and Alpine/Carpathian system*. European Geosciences Union, Stephan Mueller Special Publication Series 3, 29–40
- PAUL D., WHITE W. M., TURCOTTE D. L. 2003: Constraints on the $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ ratio (k) of the continental crust. G3, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, An Electronic Journal of the Earth Sciences, AGU 12, 1–17
- RYBACH L. 1988: Determination of the heat production rate. In: HAENEL R., RYBACH L., STEGENA L. (Eds.): *Handbook of Terrestrial Heat-Flow Density Determination*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 125–142
- UNSCEAR 2000: Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations, New York
- ZELENKA T. 2000: A Tokaj-hegység paleovulkáni újraértékelése. 022769 sz. OTKA jelentése. Légi gamma térképek az ELGI adattárából
- ZELLMER G., TURNER S., HAWKESWARTH C. 2000: Timescales of destructive plate margin magmatism: new insights from Santorini, Aegean volcanic arc. *Earth Planet. Sci. Lett.* 174, 265–281

A Pannon-medence jelenkori geodinamikájának atlasza: Euro-konform térképsorozat és magyarázó

HORVÁTH FERENC (témavezető)¹, BADA GÁBOR¹, WINDHOFFER GÁBOR¹,
CSONTOS LÁSZLÓ², DOMBRÁDI ENDRE¹, DÖVÉNYI PÉTER¹, FODOR LÁSZLÓ³,
GRENERCZY GYULA⁴, SÍKHEGYI FERENC³, SZAFIÁN PÉTER¹, SZÉKELY BALÁZS¹,
TIMÁR GÁBOR¹, TÓTH LÁSZLÓ⁵, TÓTH TAMÁS⁶

OTKA nyilvántartási szám: T 034928 (2001–2004)

A projekt fő célkitűzése a Pannon-medencéből és tektonikai környezetéből származó neotektonikai vonatkozású geo-információk (földtani, geofizikai, morfológiai és geodéziai) összegyűjtése, integrációja, adatrendszerbe szervezése, valamint az adatok egységes szemléletű kiértékelése volt. Az adatrendszereket egy 10 térképlapból álló tematikus térképsorozaton jelenítettük meg, az egyes térképlapokhoz pedig térképmagyarázókat készítettünk. A projekt fő eredményének az így létrehozott geodinamikai atlaszt és a mögötte álló adatbázist tekintjük, amely tartalmazza és ábrázolja a Pannon-medence jelenkori geodinamikájának megítélése szempontjából legfontosabbnak ítélt földtudományi információkat.

F. HORVÁTH, G. BADA, G. WINDHOFFER, L. CSONTOS, E. DOMBRÁDI, P. DÖVÉNYI, L. FODOR, GY. GRENERCZY, F. SÍKHEGYI, P. SZAFIÁN, B. SZÉKELY, G. TIMÁR, L. TÓTH, T. TÓTH: Atlas of the present-day geodynamics of the Pannonian basin: Euroconform maps with explanatory text

The project aimed at the acquisition, integration and integrated interpretation of the available data related to neotectonic activity in the Pannonian basin. A GIS database comprising geological, geophysical, morphological and geodetic information has been built. The elements of this complex neotectonic database, and the main inferences and conclusions obtained during the project have been presented in a thematic map series complemented with corresponding explanatory text. The geodynamic atlas and the established database consisting the most relevant geo-information on the present-day geodynamics of the Pannonian basin are considered as the primary result of the project.

Bevezetés

A kutatómunka első fázisában a Pannon-medencében és tágabb környezetében az elmúlt évek során megszerzett neotektonikai vonatkozású geológiai és geofizikai információk összegyűjtését, adatrendszerbe szervezését és az adatbázisok kibővítését végeztük el. Az adatok részben publikált monográfiákból, cikkekből és térképekből, részben kézíratos jelentésekből, részben pedig a projektben résztvevők nemzetközi kapcsolatait felhasználva kerültek beszerzésre. A földtani és geofizikai információk megjelenítéséhez szükséges volt egy egységes térképi alap létrehozása is, melyhez több alaptérképet, ill. domborzati adatbázist használtunk fel. Kiindulásképpen valamennyi térképlap alapját nagy felbontású digitális domborzati modell alapján készített, a Pannon-térség domborzatát és vízrajzát megjelenítő, domborzati térkép biztosította. A projekt egyik legfontosabb eleme a térinformatikai (GIS) alapú megközelítés volt: a különböző adatok azonos koordináta-rendszerbe kerültek és minden

egy-egy földtani adatrendszer egy közös, lekérdezhető adatbázisba épült be. Ezzel lehetőség nyílt a felhasznált adatok tetszőleges kombinációjú megjelenítésére, összehasonlítására és együttes elemzésére. Ez a platform tehát ideális lehetőséget teremtett arra, hogy a projekt második fázisában az adatok egységes szemléletű, integrált értelmezését elvégezzük. Ezzel a fokozatos megközelítéssel az adatok kiértékelése és a jelenkori geodinamikai folyamatokra vonatkozó következtetések levonása interaktív módon, az elképzeléseket folyamatosan ütköztetve, ill. egyeztetve történt meg. A projekt vég-eredményeként így létrehozott geodinamikai atlasz a következő 11 tematikus térképlapot, valamint az azokhoz tartozó térképmagyarázókat tartalmazza:

- nagy felbontású digitális terepmodell, indextérkép,
- kéregvastagság,
- litosféra-vastagság,
- hőáram,
- gravitáció,
- szeizmicitás,
- recens feszültségtér és reológia,
- morfotektonikai elemek,
- neotektonikai (aktív) szerkezetek,
- horizontális és vertikális kéregmozgás,
- jelenkori geodinamika: szintézis.

Eredmények

A projekt keretében elvégeztük a Pannon-medence és földtani környezetének neotektonikai, ill. jelenkori

¹ ELTE Geofizikai Tanszék,
H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.

² ELTE Általános és Történeti Földtani Tanszék,
H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.

³ Magyar Állami Földtani Intézet,
H-1143 Budapest, Stefánia út 14.

⁴ FÖMI Kozmikus Geodéziai Observatórium,
H-1592 Budapest, Pf. 585

⁵ MTA GGKI Szeizmológiai Observatórium,
H-1112 Budapest, Meredek u. 18.

⁶ Geomega Kft., H-1095 Budapest, Mester u. 4.

geodinamikai szintézisét. A térképlapok részletes bemutatása helyett inkább azokat az eredményeket emelnénk ki, ahol jelentős előrelépés történt korábbi ismereteinkhez képest.

A Pannon térség kéreg- és litoszféra-vastagsága

A Pannon-medence és környezetének kéreg- és litoszféra-vastagságát ábrázoló térkép számos ponton javult. A kéreg vastagsága tekintetében felhasználtuk a Pannon-medence magyarországi részén mért regionális kéregkutató szelvényeket, amelyeket kiegészítettünk gravitációs modellszámításokkal a Moho felület hitelesebb meghatározása érdekében. A Moho-térkép ugyanakkor pontosabb lett a Déli-Kárpátok területén és szintén jelentős mértékben bővült az ismeretünk a Keleti-Alpok kéregszerkezetének megismerése területén is. A litoszféra-vastagság térkép két területen javult számottevően, mégpedig ott, ahol a folyamatban lévő kontinens/kontinens kollízió eredményeképpen jelentős mértékű alátolódott litoszféranyúlványok vannak. Ilyen a Keleti-Alpok területe, valamint a Vrancea-zóna. A Pannon-medence területén az új magnetotellurikus értelmezés, valamint lokális szeizmikus tomográfia javította a litoszféra-vastagság térképét. A térképlapok hitelessége továbbra sem megnyugtató az adathiányos területeken. Ilyenek az Erdélyi-medence és az Erdélyi-középhegység, valamint a Pannon-medence délkeleti (bácskai-bánáti) elvégződése. A hiányosságok ellenére biztosan állíthatjuk, hogy mindkét térkép a Pannon-medence és orogén környezetének fő jellegzetességét hitelesen ábrázolja. A medence-rendszer az orogén íven belül elhelyezkedő extenziós terület, ahol a kéreg változó mértékben kivékonyodott a köpenylitoszférával együtt. Az orogének kéreg- és litoszféra-vastagságai jelentősen eltérnek egymástól annak megfelelően, hogy a Keleti-Alpokban és a Keleti-Kárpátokban kontinentális kollízió zajlik (zajlott), míg a Nyugati-Kárpátok és a Dinaridák területén a neogén kinematikát a litoszférablokkok egymás melletti (transzkurrens, ill. transzpressziós) elmozdulása jellemezte.

A Pannon térség földi hőáramsűrűsége

A földi hőáramsűrűség vonatkozásában új adatrendszer készítettünk Magyarországra, a Pannon-medence középső részére vonatkozóan is. Az eredetileg 28 hőáram-meghatározást tartalmazó adatbázist mintegy 1500 becsült hőáram értékkel egészítettük ki, alapvetően megnövelve hőáram-térképünk pontosságát. A hőáramot fúrólyukakban végzett megbízható hőmérsékletmérések és számított hővezetőképességek segítségével becsültük. A hővezető-képességeket a fűrási rétegsorok mentén, a neogén törmelékes üledékek hővezető-képességének mélységfüggését, más kőzetek esetén pedig mélységfüggetlen átlagos hővezető-képességeket figyelembe véve határoztuk meg. Az adatok megfelelő mértékben fedik le a vizsgált területet a Keleti-Alpok és az Erdélyi-szigethegység kivételével, ahonnan csak igen kevés hőáramérték ismert. Új földi hőáram-sűrűség-térképünk nagy része megfelelően alátámasztott megbízható fúrólyuk-hőmérséklet és hővezetőképesség-meghatározásokon alapuló hőáramadatokkal, de a Keleti-Alpokban és a Pannon-medence legdélebbi részén a nagy kiterjedésű pozitív anomáliák megerősítésére további mérések szükségesek. A Pannon-medence jól ismert neogén

geodinamikai fejlődéstörténete és a jelenlegi kéregszerkezet megalapozott magyarázatot ad a regionális hőáram képre, azonban néhány helyi anomália eredete kérdéses. Részletes vizsgálatok, pl. regionális és lokális léptékű numerikus modellezések segíthetnek a feltételezhetően konvekciós eredetű kisebb anomáliák magyarázatában.

A Pannon térség jelenkori feszültségtér és reológija

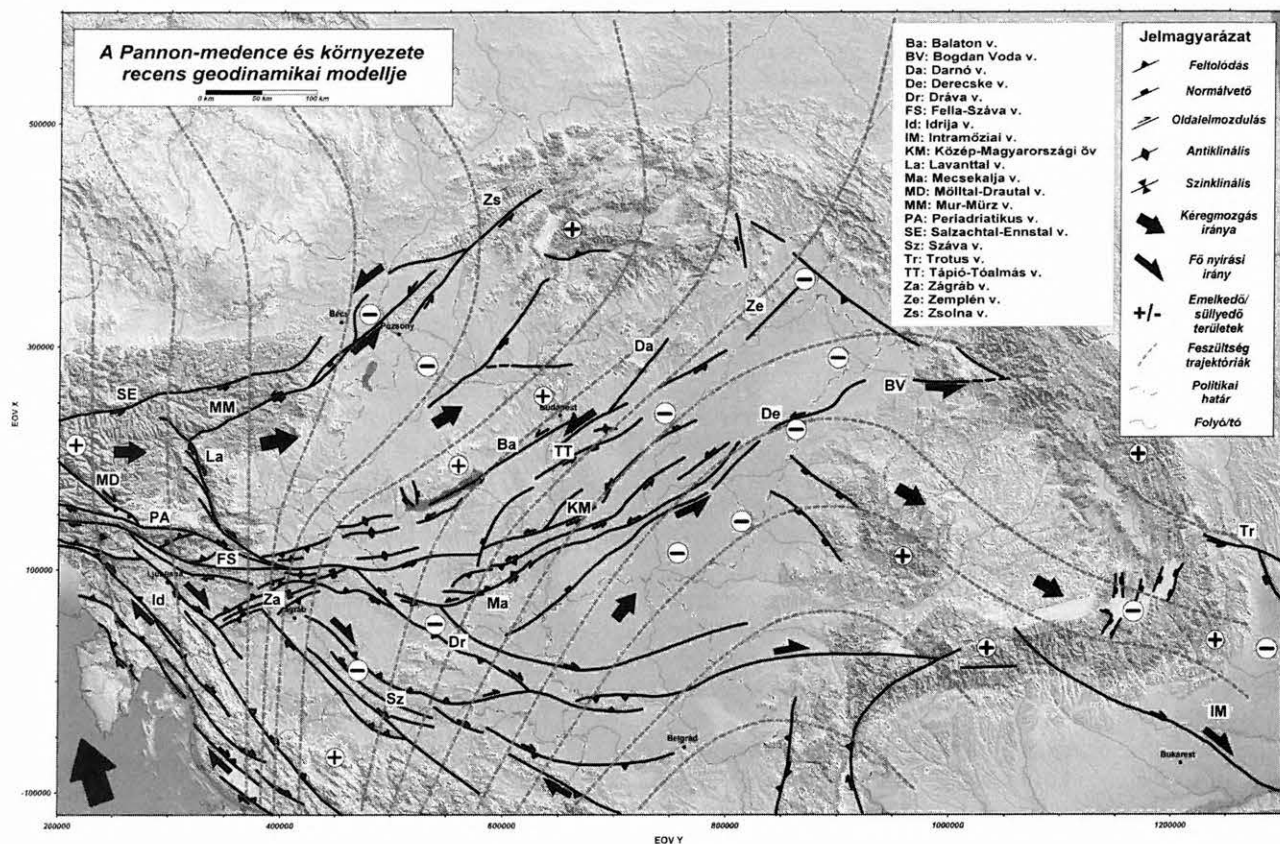
A jelenkori deformációs kép kialakításában a kőzet-feszültségek — az alakváltozást előidéző erőhatásként — és a deformálódó litoszféra mechanikai szilárdsága (erőssége vagy éppen gyengesége) döntő szerepet játszanak. Emiatt ezen adatrendszerek igen nagy jelentőséggel bírtak az adatbázisok integrációjánál és a jelenkori geodinamikai kép szintézisének kidolgozása során. A Pannon térségben folyó ipari és szeizmológiai kutatások, valamint nemzetközi tudományos programok eredményeként jelentős számú (több száz) feszültségmeghatározás történt, melyek ugyan változó sűrűséggel, de csaknem az egész vizsgált területet lefedik. A projekt során a rendelkezésre álló és időközben begyűjtött adatok egy konzisztens adatrendszerbe kerültek, amely összesen több mint 700 feszültségi adatot tartalmaz. Ezek között meg kell említeni a földrengések fészekmechanizmusából származó, igen fontos feszültségi adatokat is, melyeket az utóbbi időben éves rendszerességgel publikálnak.

A Pannon térségben a jelenkori feszültségtér laterálisan változó képet mutat. A legmarkánsabb változás a feszültségtérben a vizsgált terület délnyugati részein jelentkezik. SH iránya a Déli-Alpokról a Dinári-hegységen keresztül annak délkeleti szegélyéig (Szerbia–Montenegró) az óramutató járásával megegyező módon elfordulni látszik: míg az utóbbi területen ÉK–DNY, a Déli-Alpokban közel ÉÉNy–DDK a kompresszió iránya. A Pannon-medence központi és keleti vidékein — erősen generalizálva — ugyanez nagyjából ÉK–DNY-i csapású, amely fokozatosan közel ÉNy–DK-ivé válik az Erdélyi-középhegység, az Erdélyi-medence majd a Keleti-Kárpátok területén (Vrancea-zóna). A Nyugati-Kárpátokban és különösen annak északi előterében a nyomás iránya közel merőleges a hegylánc ívére: nyugatabbra ÉNy–DK-i, ami keletebbre fokozatosan megint ÉK–DNY-ivá válik. A fenti nagyléptékű változás alapján tehát elmondhatjuk, hogy SH uralkodó iránya az Adriai partvidéktől északkeleti irányban — előbb a Pannon-medence belsejében, majd tovább a Kárpátok ívének irányában — legyezőszerűen szétseprűződik, azaz elfordul, létrehozva a Pannon térség recens feszültségtérének jellegzetes képét.

A Pannon térség reológiai szilárdsága — hasonlóan a feszültségtérhez — jelentős laterális inhomogenitást mutat. A kivékonyodott kérgű, átfűtött medenceterületek szilárdsága igen alacsony, a kontraszt különösen a Kelet-európai platformmal és az Adriai-lemezzel összehasonlítva szembe-tűnő. Mivel a reológiai paramétereket elsősorban a litoszféra hőmérséklete határozza meg (hideg területek: erős litoszféra, meleg területek: „puha”, képlékeny litoszféra), ezért nem meglepő, hogy a magas hőárammal jellemezhető Keleti-Alpok szilárdsága is igen alacsony. A Pannon-medence és az alpi orogén litoszférája tehát a lemezen belüli feszültségek hatására viszonylag könnyen, javarészt képlékenyen deformálódik. Kőzetmechanikai megfontolások alapján —

valamint figyelembe véve a térség geodinamikai pozícióját az alpi kollíziós övben — ezeket a területeket jelenleg is aktívan deformálódónak kell tekintenünk. A feszültségek egy jelentős része azonban nem földrengések, hanem kép-

lékeny deformáció, a litoszféra meghajlása, gyűrődése útján oldódik ki. Ez fontos következményekkel bír a térség horizontális és vertikális deformációs képére egyaránt.



A Pannon-medence és környezetének geodinamikai modelljét bemutató szintézistérkép, mely ábrázolja a horizontális és vertikális kéregmozgásokat, a jelenkori feszültségtér simított irányait, valamint a főbb szerkezeti vonalakat

Geodynamic model of the Pannonian basin and its surroundings. The synthesis map illustrates horizontal and vertical crustal motion, the smoothed present-day stress field and the main structural elements

A Pannon térség neotektonikus (aktív) szerkezetei

A neotektonikus szerkezeteket bemutató térképünk szerkesztése során, tekintettel arra, hogy a terület nagy részén a pannóniai üledékek kisebb-nagyobb vastagságban, de csaknem mindenütt megtalálhatók, neotektonikus szerkezetnek tekintettünk minden olyan törést és redőt, amely pannon s.l. (pannóniai s.str. és pontusi), pliocén és negyedidőszaki képződményeket deformál. Ezek között természetesen számos aktív és inaktív szerkezet is megtalálható, a korrekt térképszerkesztés miatt azonban — mivel elkülönítésük gyakran nem lehetséges — ezeket együtt kellett feltüntetnünk. A fentiek fényében megállapíthatjuk, hogy a Pannon térség neotektonikai térképe a biztosan a miocén utáni, azaz a 6 millió évnél fiatalabb szerkezeteket mutatja be.

A szerkesztésnél a különböző részterületekre átvett neotektonikai térképeket egységesen EOV rendszerben digitalizáltuk. Ahol szükségesnek éreztük, a szerkezeti elemeket újraértelmeztük és módosítottuk, valamint az egyes szerkezeti zónákat laterálisan egymással korreláltuk. Így az egész területre egységes térképet sikerült létrehozni, amely az első ilyen típusú, szintézis jellegű munkának tekinthető a Pannon térségben. Mivel a szerkezetek jelentős része

idősebb törések ismételt felújulásához köthető, ezért a pre-neogén aljzat tektonikai térképét is felhasználtuk a fedett és fedetlen területeken egyaránt. A szerkesztésnél ezenkívül segítségünkre volt a pre-neogén aljzattérség térképe, a gravitációs (Bouguer-) anomália-, ill. annak gradienstérképe, a terület morfostrukturális vázlata és természetesen a szeizmicitás térkép is a földrengések epicentrumainak eloszlásával.

A Pannon térség horizontális és vertikális kéregmozgása

A horizontális kéregmozgások sebességének meghatározása GPS mérések kiértékelésével történt. A rendelkezésre álló GPS sebességadatok alapján egy simított, szabályos rácshálóba interpolált GPS kéregmozgás-sebességmező is készült. A térképen kiderül, hogy a horizontális sebességi viszonyok a Pannon térségben meglehetősen heterogén képet mutatnak, mind a mozgási irányok, mind pedig a mozgás gyorsaságának tekintetében. A leggyorsabban az adriai térség (Adriai-mikrolemez) mozog, a stabil európai térséghez képest ÉÉK-i irányban, mintegy 3–4,5 mm/év sebességgel. Az Adriai-Alpok kollíziós öv meglehetősen keskeny, itt az É–D-i térrövidülés üteme átlagosan

2,3 mm/év. Ez az északi konvergencia az alpi orogén belsejében nem vagy csak alig észlelhető. Ezzel szemben az ALCAPA egység kb. 1–1,5 mm/év sebességgel préselődik keleties irányba a Pannon-medence belseje felé. Ez a mozgás a Kárpátok felé fokozatosan lecsökken, majd az észlelhetőségi küszöb alá kerül. Adria és a Dinaridák közötti kontrakció üteme 4,5 mm/év, ami egy meglehetősen széles sávban, gyakorlatilag a teljes Dinaridák területén oszlik el. A térrövidülésből a Pannon-medence belsejébe is jócskán jut: a mérések tanúbizonysága szerint a Pannon-medencében észlelt kontrakció (medenceinverzió) üteme kb. 1–2 mm/év.

A vertikális kéregmozgásokat ábrázoló térképen kijelöltük a negyedidőszak folyamán süllyedt és emelkedett, valamint a köztes, nagyjából stabilnak tekinthető területeket. Az első kísérletek eredményeit nagymértékben pontosítottuk részben a pleisztocén és holocén üledékek fácies vizsgálatával, részben szeizmikus szelvények sztratifráiai elemzésével, részben pedig izotópos vizsgálatok eredményeinek felhasználásával. A vertikális kéregmozgások sebességének meghatározása azonban csak néhány helyen volt lehetséges, a regionális léptékben vett vertikális sebességtér meghatározása még számos vizsgálatot igényel. Összefoglalásképpen elmondható, hogy — leszámítva a Kis- és Nagyalföld, valamint a Bécsi-, a Dráva- és Száva-medence süllyedő részeit — a Pannon-medence és a környező hegyláncok nagy része a negyedkorban és napjainkban is emelkednek. A hagyományos geodéziai szintezés eredményei szerint mind az emelkedés, mind pedig a süllyedés üteme évenként kb. 1–2 mm-re tehető. A vertikális mozgások sebessége középhegységeink bizonyos területein a legújabb izotópos elemzések alapján jól becsülhető. A Dunakanyar sziklateraszainak kitétségi korvizsgálata azt mutatja, hogy a Duna völgye a Visegrádi-szorosban az utóbbi 150–250 ezer évben alakult ki. A folyóteraszok kora ennek megfelelően kb. 1,6–2,6 mm/év bevágódást és ezzel lépést tartó kiemelkedési ütemet valószínűsít. A süllyedő területeken — leszámítva az antropogén hatásokat (vízkivétel, szénhidrogén-bányászat) — a differenciális kéregmozgás mértéke ennél lassabb: a Tisza teraszainak vizsgálata az Alföld nagyléptékű, 0,1–0,2 mm/év ütemű, tektonikus eredetű, nyugatias irányú billenését valószínűsíti.

A Pannon térség jelenkori geodinamikája: szintézis

A geodinamikai atlasz további, tektonikai szempontból fontos jellegzetességeket mutató térképei és a kapcsolódó kvantitatív értelmezések alapján felvázolható egy egyszerűsített modell, amely a vizsgált terület recens fejlődéstörténetét geodinamikai szempontból magyarázni képes.

Röviden összefoglalva megállapítható, hogy a húzásos eredetű Pannon-medence és a környező orogén hegyláncok jelenleg döntően kompressziós erőhatások alatt állnak. A medencerendszerre ez idő szerint több irányból is aktív nyomófeszültség, kompresszió hat. Ezek közül a régiótól délre elhelyezkedő Adriai-mikrolemez északi mozgásából és óramutató járásával ellentétes irányú forgásából fakadó, a Dinári-hegység peremére ható aktív nyomás (Adria-nyomás) tekinthető felelősnek a Pannon térség recens, főképp eltolódásos, ill. kompressziós jellegű feszültségterének létrejöttéért. Az Adriai-mikrolemez mozgásának irányát ürgedéziai mérések és szeizmotektonikai

vizsgálatok eredményei is alátámasztják. Ezen a vidéken intenzív deformáció és erős földrengés tevékenység tapasztalható, az aktív törésvonalak — többnyire fel- és eltolódások — viszonylag pontosan kijelölhetők. Az Adria-nyomás hatása a Pannon-medence belsejéig jól nyomon követhető. A feszültségi rezsim szisztematikus laterális megváltozása azonban azt mutatja, hogy Adriától távolodva ez a hatás egyre kevésbé hangsúlyos. A terület délnyugati peremvidékeitől a medence belseje felé haladva a feszültségi rezsim fokozatosan változnak előbb feltolódásosból (Friuli) transzpressziós jellegűvé (Dinaridák), majd a medence belsejében eltolódásos (Dunántúl nagy része), néhol transztenziós (Derecske) karakterűvé. A terület recens geodinamikáját magyarázó másik fundamentális kinematikai hatás az ALCAPA egység folytatódó, közel keleti irányú extrúziója. A Pannon-medence extenziójának megszűnte után egy új, alapvetően kompressziós feszültségtér kezdett el kialakulni nagyjából a pliocén végétől, a negyedidőszak kezdetétől. Ennek jellegét alapvetően az afrikai eredetű Adriai-mikrolemez és Európa konvergenciája, ezen belül pedig az ALCAPA egység folytatódó, de keleti irányban fokozatosan lassuló kiszökése határozza meg. Megállapíthatjuk tehát, hogy egymástól teljesen független (közvetlen, ürgedéziai, szerkezetföldtani) adatrendszerek egyaránt a Pannon-medencében zajló aktív térrövidülést, a medence szerkezeti inverzióját bizonyítják.

FONTOSABB PUBLIKÁCIÓK

- BADA G. (Ed.) 2001: Quantitative neotectonics and seismic hazard assessment: New integrated approaches for environmental management. 3rd St. Mueller Topical Conference of the European Geophysical Society, Abstract Book, 75 p. (Balatonfüred)
- BADA G., HORVÁTH F., TÓTH L., FODOR L., TIMÁR G., CLOETINGH S. 2006: Societal aspects of ongoing deformation in the Pannonian region. In: PINTER N., GRENERCZY GY., WEBER J., STEIN S., MEDAK D. (Eds), The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics, and Hazards. NATO Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences, Springer Verlag 61, 385–402
- CLOETINGH S., BADA G., MATENCO L., LANKREIJER A., HORVÁTH F., DINU C. 2006: Neotectonics of the Pannonian-Carpathian system: Inferences from thermo-mechanical modelling. In: GEE D. G., STEPHENSON R. A. (Eds) European Lithosphere Dynamics, Geological Society, London, Memoirs, 32, 207–221
- CLOETINGH S., HORVÁTH F., DINU C., STEPHENSON R. A., BERTOTTI G., BADA G., MATENCO L., GARCIA-CASTELLANOS D., the TECTOP Working Group 2003: Probing tectonic topography in the aftermath of continental convergence in Central Europe. EOS, Transactions, AGU 84, 10, 89–93
- CLOETINGH S., MATENCO L., BADA G., DINU C., MOCANU V. 2005: The evolution of the Carpathians–Pannonian system: Interaction between neotectonics, deep structure, polyphase orogeny and sedimentary basins in a source to sink natural laboratory. Tectonophysics 410, 1–14
- CLOETINGH S., ZIEGLER P., BEEKMAN F., ANDRIESEN P., MATENCO L., BADA G., GARCIA-CASTELLANOS D., HARDEBOL N., DEZES P., SOKOUTIS D. 2005: Lithospheric memory, state of stress and rheology: Neotectonic controls on Europe's intra-plate continental topography. Quaternary Science Reviews 24, 3–4, 241–304
- FODOR L., BADA G., CSILLAG G., HORVÁTH E., RUSZKICZAY-RÜDIGER ZS., SÍKHEGYI F. 2005: New data on neotectonic structures and morphotectonics of the western and central Pannonian

- Basin. Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary 204, 35–44
- FODOR L., BADA G., CSILLAG G., HORVÁTH E., RUSZKICZAY-RÜDIGER Zs., HORVÁTH F., CLOETINGH S., PALOTÁS K., SÍKHEGYI F., TIMÁR G. 2005: An outline of neotectonic structures and morphotectonics of the western and central Pannonian basin. *Tectonophysics* **410**, 15–41
- GRENERCZY G., FEJES I., KENYERES A. 2002: Present crustal deformation pattern in the Pancardi region: Constraints from space geodesy. *EGU Stephan Mueller Spec. Publ. Ser. 3*, p. 65–78
- HORVÁTH F., BADA G., SZAFIÁN P., TARI G., ÁDÁM A., CLOETINGH S. 2006: Formation and deformation of the Pannonian basin: Constraints from observational data. In: GEE D. G., STEPHENSON R. A. (Eds.), *European Lithosphere Dynamics*, Geological Society, London, *Memoirs*, **32**, 191–206
- RUSZKICZAY-RÜDIGER Zs., DUNAI T., BADA G., FODOR L., HORVÁTH E. 2005: Middle to late Pleistocene uplift rate of the Hungarian Mountain Range at the Danube Bend (Pannonian Basin), using in situ produced ^3He . *Tectonophysics* **410**, 173–187
- RUSZKICZAY-RÜDIGER Zs., DUNAI T. J., FODOR L., BADA G., LEÉL-ÖSSY Sz., HORVÁTH E. 2005: A negyedidőszaki függőleges kéregmozgások számszerűsítése a Duna völgyében a korábbi kronológiai adatok és új, kozmogén ^3He kitettségi kor mérések alapján. *Földtani Közlöny* **135**, 3, 373–403
- RUSZKICZAY-RÜDIGER Zs., FODOR L., BADA G., LEÉL-ÖSSY Sz., HORVÁTH E., DUNAI T. 2005: Quantification of Quaternary vertical movements in the central Pannonian Basin: review of chronologic data along the Danube river, Hungary. *Tectonophysics* **410**, 157–172
- WINDHOFFER G., BADA G. 2005: Analogue modelling of the formation and deformation of the Derecske trough. *Acta Geologica Hungarica* **48**, 4, 351–369
- WINDHOFFER G., BADA G., NIEUWLAND D., WÓRUM G., HORVÁTH F., CLOETINGH S. 2005: On the mechanics of basin formation in the Pannonian basin: Inferences from analogue and numerical modelling. *Tectonophysics* **410**, 389–415



LENKEY László



POSGAY Károly és FANCSIK Tamás

Új irányzatok a magnetotellurikában

SZARKA LÁSZLÓ (témavezető)¹, ÁDÁM ANTAL¹, KIS MÁRTA¹, LEMPERGER ISTVÁN¹,
NOVÁK ATTILA¹, SZALAI SÁNDOR¹, UBRÁNKOVICS CSABA¹, VERŐ JÓZSEF¹,
WESZTERGOM VIKTOR¹, FEJES IMRE¹, KISS JÁNOS², MADARASI ANDRÁS², PRÁCSER ERNŐ²,
SŐRÉS LÁSZLÓ², VARGA GÉZA², NAGY ZOLTÁN³, ZAHUCKI PÉTER⁴

OTKA nyilvántartási szám: T 037694 (2002–2005)

2000-ben benyújtott pályázatunkban összefoglaltuk az új magnetotellurikus irányzatokkal kapcsolatos akkori elképzeléseinket, egyúttal a Pannon–Kárpát-medencében a magnetotellurika számára esedékes, és reálisan teljesíthető feladatokat is felvázoltuk. Fő célkitűzéseink az alábbiak voltak:

(1) A felszín alatti elektromágneses térnek a magnetotellurikus impedanciatenzor sajátágaiban kifejeződő alapvető tulajdonságain és terepi teszteken alapulva új elektromágneses leképezési módszert dolgozunk ki a felszín alatti földtani szerkezetek, elsősorban mélyszerkezetek kutatására.

(2) Elektromágneses módszerekkel vizsgáljuk a neotektonika és a mélyszerkezetek esetleges kapcsolatát.

(3) A Kárpát–Pannon-medence területén elvégezzük a meglévő és a mérendő geofizikai alapszelvények magnetotellurikus adatainak egységes feldolgozását, értelmezését, amely lehetőséget ad más geofizikai anomáliák egyértelműsítésére.

Munkatervünkben a teendőket végül kilenc részfeladatban összegeztük. Ez az összefoglalás az OTKA zárójelentés rövidített változata.

L. SZARKA, A. ÁDÁM, M. KIS, I. LEMPERGER, A. NOVÁK, S. SZALAI, Cs. UBRÁNKOVICS, J. VERŐ,
V. WESZTERGOM, I. FEJES, J. KISS, A. MADARASI, E. PRÁCSER, L. SŐRÉS, G. VARGA, Z. NAGY,
P. ZAHUCKI: New trends in magnetotellurics

In our project proposal, submitted in 2000, we summarized our ideas about the actual trends in magnetotellurics, and we formulated several realistic magnetotelluric tasks to be carried out in the Carpathian–Pannonian basin. The main objectives were as follows:

(1) Elaboration of a new magnetotelluric imaging technique, based on the properties of the impedance tensor to investigate subsurface (first of all deep) geological structures,

(2) Investigation of a possible relation between the neo- and deep tectonics,

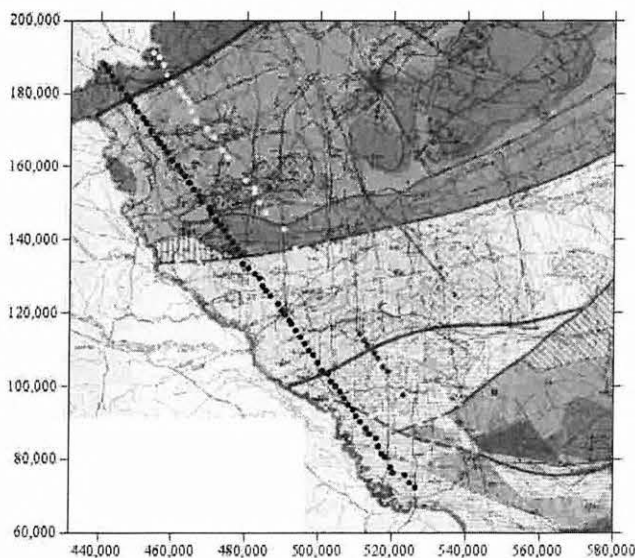
(3) A unified processing and interpretation of MT data along basic profiles in the Carpathian–Pannonian basin, enabling a more unambiguous interpretation of other geophysical anomalies.

In our project proposal altogether 9 various tasks were formulated. This summary is a simplified version of the final report, submitted to the Hungarian National Scientific Research Fund.

MT mérések a CELEBRATION szelvények mentén

A projekt indulásakor a CEL7-es szelvényt választottuk ki egyrészt közelsége, másrészt komplexitása — keresztezi a Rába-vonalat, a Balatonfő-vonalat, a Balaton-vonalat és a Kapos (Közép-magyarországi) vonalat — miatt. Miután anyagi lehetőségeinket más forrásból (OTKA TS 408048) némileg ki tudtuk egészíteni, és a német GeoForschungs-Zentrumtól tucatnyi magnetotellurikus berendezést kaptunk kölcsön (nem német kutatócsoportként egyedül csak mi használhattuk ezeket a műszereket), 2003-ban el tudtuk végezni a CEL7 teljes magyarországi szakaszának magnetotellurikus kutatását. Az ELGI — alvállalkozóként végzett — szondázásait a CEL7-tel párhuzamos szakaszokra koncentráltuk. Így az eredetileg vállalt számú MT szondázás helyett sokkal többet sikerült megvalósítani (1. ábra).

A 2-D (TE+TM+Hz) inverzió az ismert mélytörések mint elektromosan jólvezetők indikálódta (2. ábra).



1. ábra. A projekt keretében mért MT szelvények csökkenő hossz szerint. CEL7: 2003–2004; ALP13: 2002, 2005; Schnegg: 2003

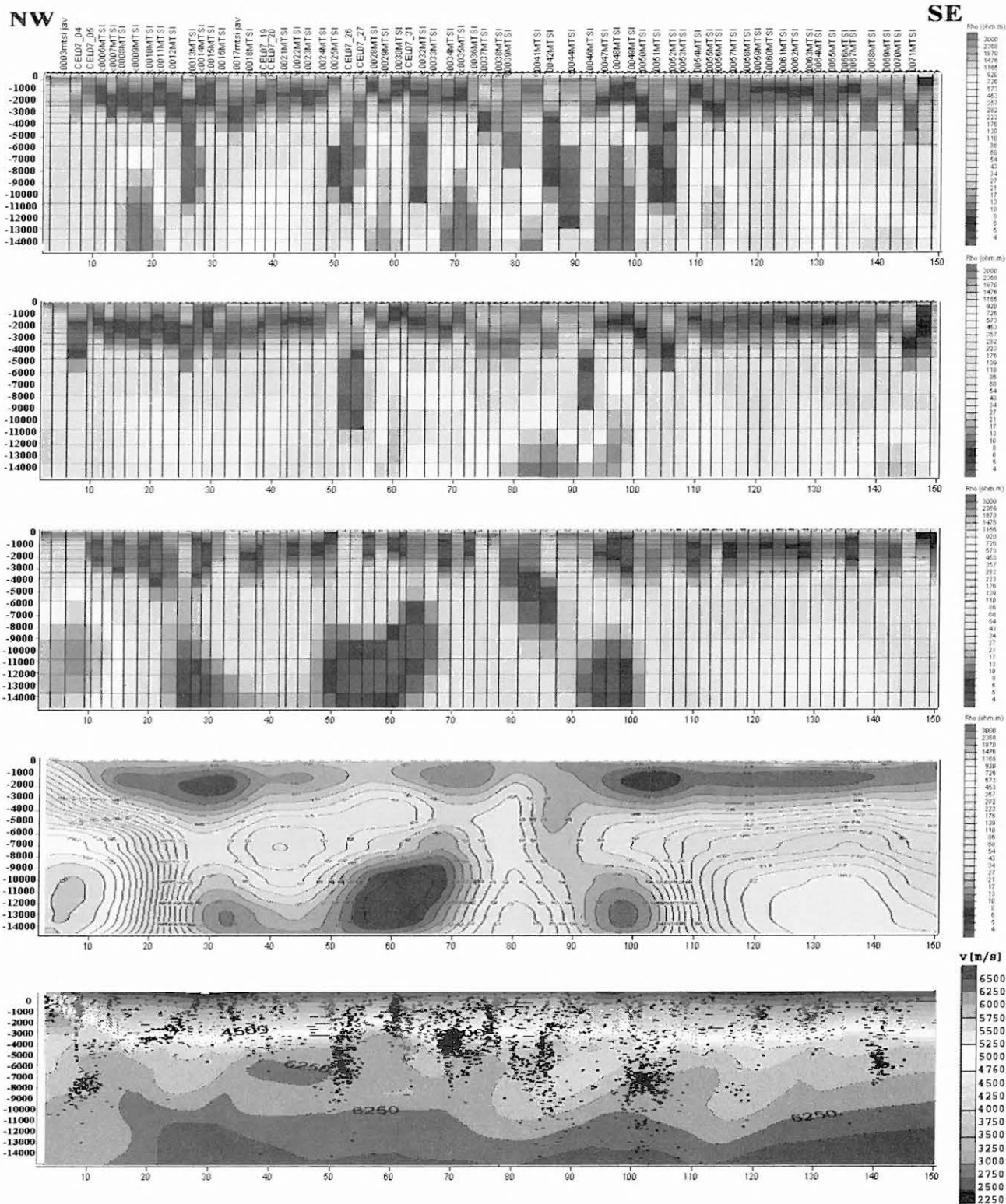
Fig. 1. MT lines, measured in frames of the project, in a decreasing order of their lengths. CEL7: 2003–2004; ALP13: 2002, 2005; Schnegg: 2003

¹ MTA GGKI, H-9401 Sopron, Pf. 5

² Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.

³ H-1124 Budapest, Vécse u. 6.

⁴ MOL Nyrt. H-1117 Budapest, Október huszonharmadika u. 18.



2. ábra. MT pszeudoszelvények (felülről lefelé haladva): automatikus TE+TM módusok (+Hz) inverziója; TM inverzió; TE inverzió; interpolált verziója a TE inverziónak; mélyszeizmikus refrakciós kísérlet eredménye, feltételezett gravitációs és mágneses határfelületekkel (ld. a sötétebb és a világosabb pontokat)

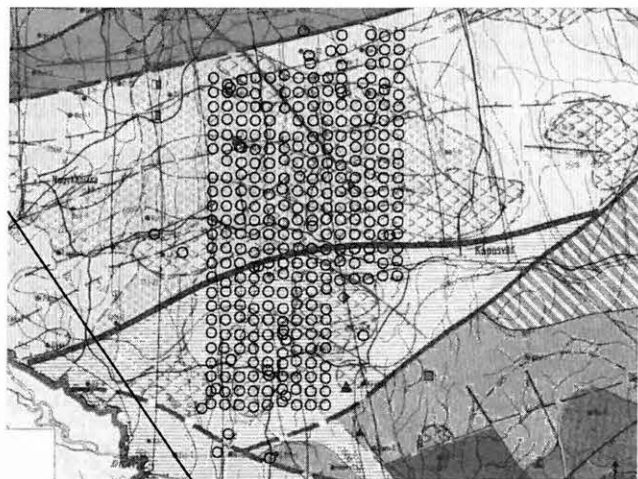
Fig. 2. MT pseudo-profiles (from top to bottom): automatic inversion of TE+TM modes (+Hz); TM inversion; TE inversion; interpolated version of the TE inversion; deep seismic refraction results, together with assumed gravity and magnetic boundaries (see the darker and lighter dots)

Hozzáférhető MOL adatok összegyűjtése

2004-ben hozzá jutottunk (két éven át kitaró próbálkozás eredményeképpen) a jogilag MGSZ-tulajdonban lévő,

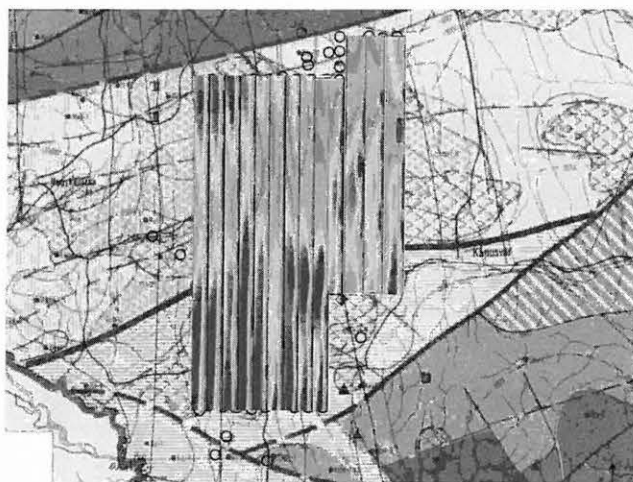
de fizikailag sokáig a MOL-ban tárolt magnetotellurikus pontokhoz, amelynek a teljes impedanciatenzor értékei leporello-papírokon voltak meg (3. ábra). Ennek köszönhe-

tően — elsősorban egyetemisták bevonásával — majdnem félezer magnetotellurikus szondázási pont impedancia-adatai kerültek be az MT adatbázisunkba, szabványos EDI fájl formátumban. (Különösen a Nagyatád környéki hálózatos mérések elsősorban a Kapos-vonal magnetotellurikus vizsgálatához adnak nagy volumenű információt.) A 4. ábra klasszikus 2-D eredményeket mutat.



3. ábra. A Nagyatád környéki 3-D MT ponthálózat és a CEL7 szelvény egy része

Fig. 3. 3D MT network at Nagyatád and a part of the CEL7 profile



4. ábra. A terület előzetes MT eredménye (É–D irányú szelvények alapján. Sötétebb: nagyobb fajlagos ellenállás, világosabb: kisebb fajlagos ellenállás)

Fig. 4. Preliminary MT results (shown as N-S profiles. Darker colours mean higher resistivities, lighter colours correspond to lower ones)

Elméleti vizsgálatok

Numerikus modelleken folytatott szisztematikus vizsgálatokkal megerősítést nyert, hogy az x, y, z -függő (3-D) féltérmodellek jellemző geometriai paramétere a magnetotellurikus impedanciatenzor valós elemeiből származtatott tenzor rotációs invariánsokból számított magnetotellurikus látszólagos fajlagos ellenállásokkal van a legközvetlenebb kapcsolatban, bármelyik invariánst (pl. trace, ssq, det) számítjuk.

A Weaver-féle I1–I7 rendszer dimenzionalitási információt is ad, ezért ezek alkalmazásával részletesen foglalkoztunk. A CEL7 menti adatok invariáns-feldolgozása is meggyőzően mutatja, hogy — korábbi numerikus vizsgálatainkat megerősítve — az impedancia valós elemeiből (az I1-ből) származó invariánsok alapján az EM leképezési anomália az összes többi mennyiséghez (pl. az I2-höz) képest kisebb periódusidőknél és robusztusabban jelentkezik (5–6. ábra).

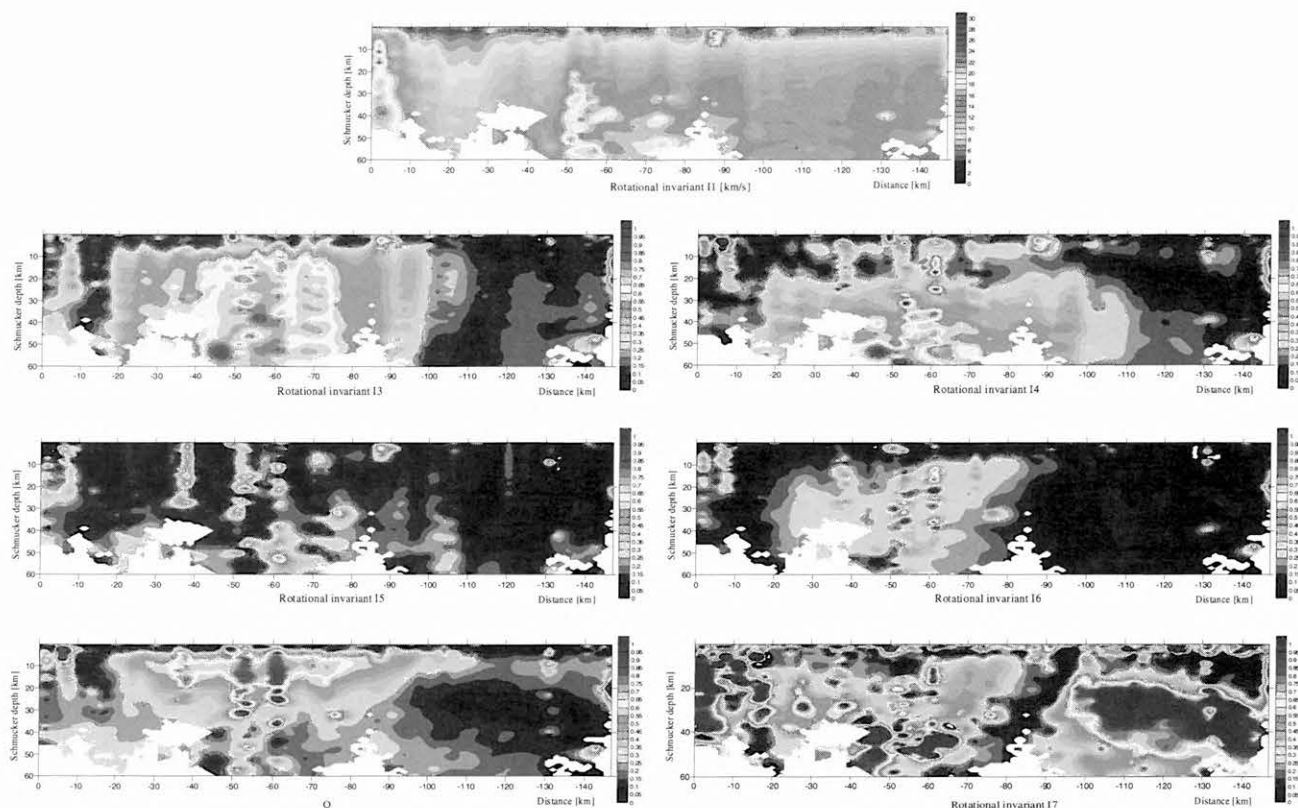
2004-es felismerésünk, hogy az ún. magnetotellurikus dekompozíciókból származó — sokszor fizikailag nehezen értelmezhető — leszármaztatott mennyiségek áttranszformálhatók a rotációs invariánsok rendszerébe. (A magnetotellurikus dekompozíciók helyett is érdemes egyből a megfelelő rotációs invariánsok rendszerébe transzformálni, hiszen a sok-sok ún. dekompozíciós módszer lényegében invariánsokat ad. Következésképpen bármelyik dekompozíció tekinthető egyfajta gyakorlat-orientált invariáns-közelítésnek, ahol a dekompozíciók által ígért 9 féle eredmény között legalább egy nem független is van.)

Az elektromágneses leképezés a mérési adatokat felszín alatti térségre kizárólag a mért adatok transzformációjával vetíti vissza, és ehhez a felszín alatti térségről semmiféle külső megkötésre nincs szükség. A mélységértékek, szerkezeti méretek és fajlagos ellenállások meghatározása, tehát az ún. végeredmény elérése azonban külső feltételek figyelembe vétele nélkül nem lehetséges. Inverziónak az értelmezési folyamat egészét, de önmagában ezt a második lépést is nevezhetjük. Nélkülözhetetlensége mellett az inverzió — elkerülhetetlen — veszélye, hogy az értelmezési folyamatot egy olyan modellcsaládra szűkíti le, amely a felszín alatti térséget kizárólag annak a családnak az elemeiből állónak látja. (Leginkább a 2-D inverziókkal — magnetotellurikussal és egyenáramú sokelektrodással — kapcsolatban szereztünk efféle negatív tapasztalatokat. Ezekből azt a következtetést vontuk le, hogy a modell-bonyolultsági sorrend nem a természetesnek tűnő 1-D–2-D–3-D, hanem 1-D–3-D, és a 2-D gyakran használhatatlan.) Ezért elméleti eredményeink szerint a leképezéshez a legjobb kiindulásnak a hagyományos, gondos egyenkénti 1-D feldolgozást tartjuk. (A legadekvátabb leképezési eredmények mint inverziós kiindulási adatok használata minden bizonnyal hatékonyabb és valóságosabb 3-D inverziót tesz majd lehetővé.)

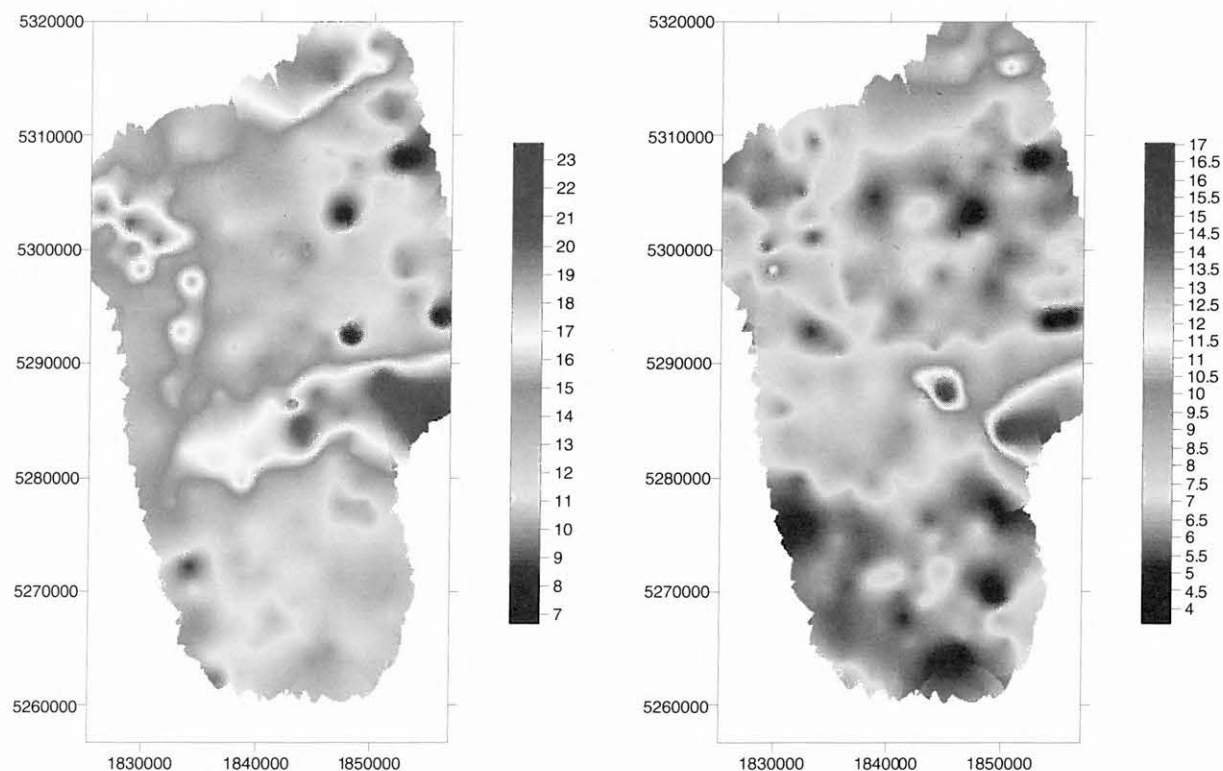
Az inverzióban jelenleg a teljes kétdimenziós (TE+TM+Hz) inverzió a legkorszerűbb megoldás, amelyet azonban fenntartásokkal kell kezelni.

A magnetotellurikában jelenleg az impedanciatenzor teljes információtartalmának kihasználása és a megfelelő megjelenítés az egyik kulcskérdés. Olyan ábrázolásmódot javasolunk, amelyben az impedancia teljes információ-tartalma megőrződik.

Mélységparaméternél — éppen a közvetlen 1-D–3-D kapcsolat miatt — a Schmucker-féle mélységet találtuk a legjobbnak. A valós elemekből számított bármelyik invariáns megfelelő fajlagos ellenállást szolgáltat, de — tekintettel elvi megfontolásokra és a mágneses fázisátalakulás lehetőségére is — mindenféle fajlagos ellenállás helyett a diffúziós sebességet javasoljuk. Az I1 (és a jellegtelenebb I2) mértékegysége km/s. A nagyellenállású összetettekben a diffúziós sebessége nagy; kis ellenállásúakban (valamint a nagy mágneses szuszeptibilitású közegekben) a diffúziós sebessége kicsi.



5. ábra. I1, I3 és I4, I5 és I6, Q és I7 paraméterek a CEL7 mentén
Fig. 5. I1, I3 and I4, I5 and I6, Q and I7 parameters along the line CEL7



6. ábra. I1 és I2 paraméterek Nagyatád környékén $T=100$ s esetén. A skálán szereplő számok mértékegysége km/s. (A valós impedanciaelemekből számított I1 diffúziós sebességeloszlás karakterisztikusabb képet mutat az I2-nél)

Fig. 6. I1 and I2 parameters around Nagyatád at a period of $T=100$ s, shown in a physical dimension of km/s. (The I1 diffusion velocity distribution calculated from the real tensorial elements is more characteristic than the I2-based one)

A fázisanomália és a mélybeli szerkezeti paraméterek közötti korreláció a legnagyobb fázisanomáliához tartozó térváltozási periódus esetén nulla. (A Békés-medencében tapasztalt fázisanizotrópia-jelenséget 2-D/3-D modellezéssel vizsgáltuk.)

A Dunántúli vezetőképesség-anomáliáról és a Pannon-medence asztenoszférajáról újabb összefoglaló tanulmányok készültek. A Bakony előterében kimutatott szeizmikus ún. *bright-spot*-ok és a dunántúli elektromos jólvezető anomália között talált kapcsolat arra utal, hogy az elektromos anomáliát a folyadék és a folyadék által szállított grafit okozza. Az elektromágneses indukciós vektorok irányában tapasztalt regionális léptékű változás (a Dunántúl nyugati részén az indukciós vektorok a Pannon-medence jellegzetes déli irányultságról nyugat felé fordulnak) új szempontokat vet fel a részben a Bakony alá is benyúló Penninikumra vonatkozóan. Részletesen foglalkoztunk a hosszú periódusú indukciós vektorokban megnyilvánuló (E-polarizációs jellegű) távhatásokkal, pl. a Kárpáti Vezetőképesség-anomália és a Keleti-Alpok hatásaival a Pannon-medencében mért indukciós vektorokra.

Az indukciós vektorok alapján 2003-ban statisztikus összefüggést állítottunk fel az S-tartománybeli vektorhossz és az üledékvastagság között. Ennek elvi alapját (és az összefüggést a vektorhossz és a logaritmikus üledékváltozás közötti kapcsolatra pontosítva) (2005-ben) szintén megadtuk.

Spline-interpoláción alapuló modellparaméteres két-dimenziós inverziós eljárás készült, és a CEL7 déli szakaszáról származó adatok igazolták az elképzelés helyességét.

A legmeglepőbb eredményt a mágneses fázisátalakulás földkéregbeli lehetőségének felismerése hozta, meg-

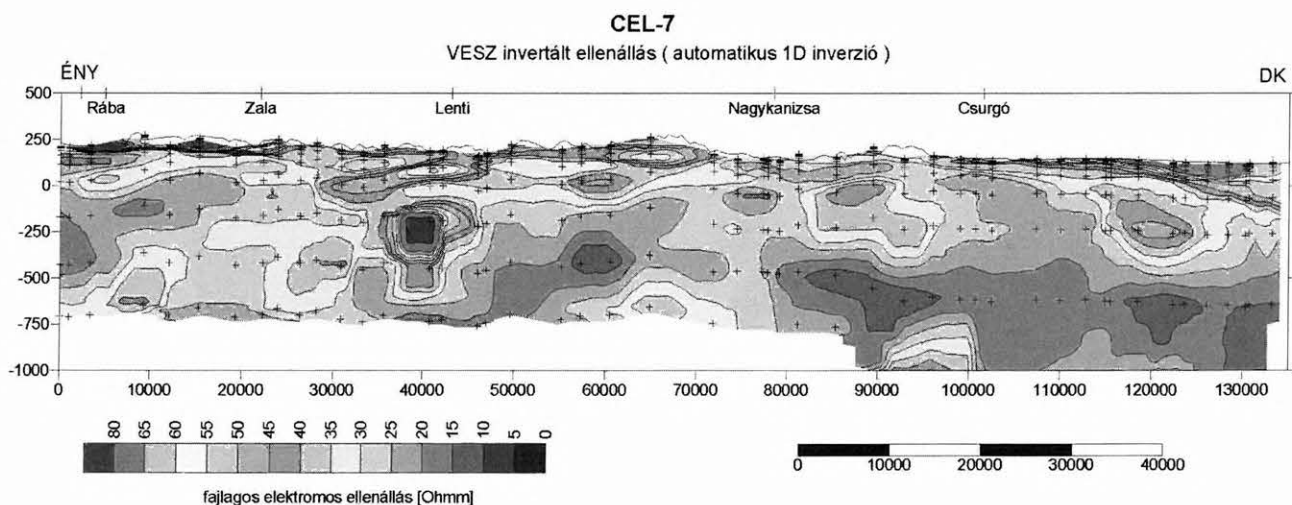
erősítve az a korábbi feltételezést, miszerint a földkéreg nem ismerjük kellőképpen.

Kiegészítő vizsgálatok

Felszínközeli vizsgálatokkal (a) az esetleges közvetlen mélyszerkezeti kapcsolatok kimutatásán túlmenően (b) tanulmányozható a felszínközeli hatók zavaró hatása, (c) ellenőrizhetők a mélyszerkezetek leképezési lehetőségei.

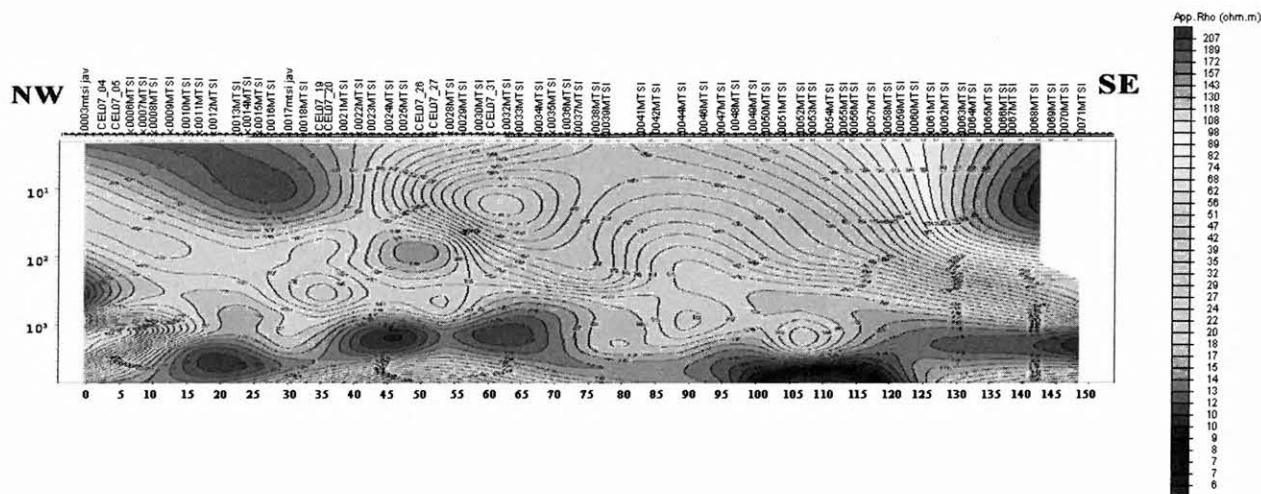
Az OTKA-finanszírozás bizonytalansága miatt a közvetlen méréseket nem tudtuk megszervezni a CEL7 szelvény mentén. Helyette az MGSZ geoelektromos adattárából beszereztük a szelvény mentén korábban végzett nagyobb mélységű (max. 750 m-es) VESZ mérések eredményeit (7. ábra). E mérések alapján szerkesztett fajlagos ellenállásszelvényt összehasonlítva a CEL7 menti MT szondázások TM-módusú Rho értékeivel (8. ábra) az üledékes medence főbb sajátosságaira jó egyezést (nagyobb ellenállásértékeket a felszínközeli, kisebb ellenállásokat az 500m–1 km-es mélységtartományban) kaptunk. Emellett magyarázatra vár, hogy VESZ a CEL7 nagyjából középső szakaszán hasonlít a TE-módusú inverz MT-szelvény 10 km-es mélységű jellegzetességeire. Valószínűleg csak véletlen vizuális egybeesésről van szó.

A területen a felszínközeli adatokból a mélyszerkezeti kapcsolatot nem tudtuk kimutatni, már csak azért sem, mert elméleti vizsgálataink azt mutatták, hogy még a domborzat hatása sem hanyagolható el a nagymélységű kutatásoknál. A geológiai zaj tehát elfedi a neotektonika és a mélyszerkezet esetleges kapcsolatát.



7. ábra. VESZ invertált ellenállásszelvény a CEL7 mentén

Fig. 7. Inverted VES resistivity profile along the line CEL7



8. ábra. MT TM-módusú felszínközei inverzió a CEL7 mentén

Fig. 8. Near-surface MT inversion for the TM mode along the line CEL7

NÉMETH Gusztáv ny. nagykanizsai MOL-geológus bevonásával elvégeztük a CEL7 menti geofizikai anomáliák geológiai-geokémiai jellegzetességekké (északon fűzr-szerűen elhelyezkedő CO₂-felhalmozódások, országos határérték feletti He-előfordulás, geotermikus metán, vulkánkitörési centrumok, a szelvény közepén a budafai CO₂ és geotermikus jellegű SiO₂-anomáliák, délebbre CO₂ (Pátró-Liszó), ofiolitos komplexum, miocén vulkánkitörési centrum (Somogyudvarhely)) való összevetését.

Összefoglalás

A CEL7 mélyszeizmikus szelvény magyarországi szakaszán és azzal párhuzamosan több mint száz magnetotellurikus (MT) szondázást végeztünk a 0,001–1000 s periódustartományban. Több száz régi (a MOL és elődjei által mért) magnetotellurikus pont impedancia-adatait digitalizáltuk. A digitalizált és a projekt keretében mért (rég és új) magnetotellurikus adatokon elvégeztük a 2-D (TE+TM+Hz) inverziót, másrészt felhívtuk a figyelmet a klasszikus két-dimenziós értelmezés hátulütőire.

Az adatokat tesztterületként használtuk új leképezési módszerünkhöz. Rotációs invariáns-megközelítésünkkel általánosítottuk a MT impedanciatenzorból kinyerhető információkat. (Kimutattuk pl., hogy az eddigi dekompozíciós módszerek az invariáns-megközelítés egy-egy konkrét megvalósítását jelentik.) Az impedancia valós elemeiből számított rotációs invariánsok ugyanazon periódus esetén

nagyobb mélységekből hordoznak információt, mint a képzetes elemekből számítottak. Egy olyan invariáns-rendszer segítségével, amely egyrészt dimenzionális mennyiségeket ad, másrészt a valós és képzetes mennyiségeket külön-külön kezeli, bemutattuk a CEL7 és egy Nagyatád környéki 3-D terület magnetotellurikus leképeződését, amely több, ismert és még ismeretlen földtani jelenségre hívta fel a figyelmet. Mindezek alapján új elektromágneses leképezési módszert dolgoztunk ki a felszín alatti földtani szerkezetek, elsősorban mélyszerkezetek kutatására. A GGKI+ELGI kutatócsoport 2005-ben felkérést kapott ausztriai magnetotellurikus mérések végzésére.

Lékepezési eredményeinket a felszínközei kutatásban is hasznosítottuk.

Összefoglaltuk a jólvezető szerkezetekről szerzett eddigi ismereteket, megállapításokat tettünk az indukciós vektorra, a MT forrástérre, és rámutattunk az indukált polarizáció, valamint a földkéregben a mágneses fázisátalakulás lehetőségére is.

53 publikációs tételünk van. Összesen hat, már megjelent SCI-publikációval rendelkezünk. (További kettő van elbírálás alatt). Összesen 20 folyóiratcikk, 14 konferenciakiadvány, 17 absztrakt, 2 egyéb publikáció született a projekt keretében.

A szerzők között a projektszerződéskor szerepelt és a közben csatlakozott kutatókat egyaránt feltüntettük.

Együttes inverziós módszerek fejlesztése felszínközeli 2-D és 3-D szerkezetek kutatására

ORMOS TAMÁS¹ (témavezető), GYULAI ÁKOS¹, PETHŐ GÁBOR¹, TURAI ENDRE¹,
DARAGÓ ATTILA²

OTKA nyilvántartási szám: T 037842 (2001–2005)

T. ORMOS, Á. GYULAI, G. PETHŐ, E. TURAI, A. DARAGÓ: Development of joint inversion methods for investigations of 2D and 3D near-surface structures

Bevezetés

A kutatási téma keretében a Geofizikai Tanszéken kifejlesztett, a sorfejtéses technikán alapuló együttes inverziós módszerek továbbfejlesztése volt a kitűzött cél. Ennek keretében számos kérdés tisztázására, valamint új módszerek kifejlesztésére került sor. Ezek között új direktfeladat-megoldások, a bázisfüggvények típusának és a függvény-sorok hosszának meghatározása, további módszerkombinációk kipróbálása, eltérő réteghatárok kezelése, a sorfejtéses technika „nem konvencionális” inverziós alkalmazása a GRM és IP módszerek területén, a leképezési pontosság javítása és a 3-D-re való kiterjesztés vizsgálata szerepelt.

Direkt feladatok

A valamennyi inverz feladat központi részét képező direktfeladat-megoldásokat fejlesztettük, alkalmaztuk, illetve megoldásokat vizsgáltuk a sorfejtéses inverziós technika szemszögéből.

- a) E területen előrelépést értünk el azzal, hogy az egyenáramú 1-D direktfeladat-megoldást (1.5-D függvényinverziós módszer) felváltottuk egy 3-D (véges differenciás) direktfeladat-megoldással egy és ugyanazon az inverziós algoritmuson belül. A 3-D direktfeladat-megoldás beépítése nemzetközi együttműködés eredménye (TU Freiberg, Németország). Az eljárást *kombinált függvényinverziós* módszernek neveztük el, amellyel sokkal pontosabb és megbízhatóbb eredmények érhetők el.
- b) Az elektromágneses módszerek inverziós algoritmusokba való bevonásának algoritmus szintű lehetősége adott, azonban többdimenziós esetben a direkt feladat megoldása mesterséges források alkalmazásakor jelentős gépidőt igényel. A síkhullámú gerjesztő tér esetétől eltekintve a felszínközeli struktúrák kutatásakor a mérések zöme az átmeneti zónába esik. A felszínközeli struktúrákra vonatkozó érzékenységi vizsgálatok mellett tér- és frekvenciatartomány-beli leképezésekre helyeztük a hangsúlyt.
- c) A refrakciós direkt feladatok megoldása keretében a SH refraktált hullámok direkt feladatát (ray-tracing) is le-származtattuk a P-hullám megoldásból és az együttes inverziós algoritmusba illesztettük.

d) Arra a sorfejtéses technikát alkalmazó inverziós módszereknél folyamatosan felmerülő kérdésre kerestünk választ, hogy hogyan válasszuk meg a bázisfüggvények típusát, valamint arra, hogy a függvény-sorokban hány elemet használjunk a fizikai, illetőleg geometriai paraméterek leírására.

e) Az inverziós algoritmusainkat úgy fejlesztettük tovább, hogy egyazon inverziós algoritmusba több különböző bázisfüggvény szerint sorba fejtett függvényt (hatványfüggvény és Fourier-sor) lehet alkalmazni. Tapasztalataink szerint a „nyugodtabb” lefutású — laterálisan kisebb térfrekvenciával változó — modellparaméterek esetén a kisebb elemszámú hatványsorok, míg a változékonyabb modellparaméterek esetében az ortogonális trigonometrikus — Fourier-sorok — alkalmazása célszerű. Ez utóbbiak kedvező tulajdonságai miatt hosszú függvény-sorok is alkalmazhatók, így akár a réteghatárok nagyobb „frekvenciájú” változásai is jobban közelíthetők. A függvény-sorok hosszának azonban egyéb okok határt szabhatnak. Ilyenek a refraktált hullámok gyakorlatban tapasztalt sávkorlátozottsága miatti, a Fresnel-zóna mérete okozta korlátozott felbontás, valamint a geoelektromos véges differenciás direkt feladat alkalmazása esetén a számítási idő jelentős hossza. Amennyiben a modellparaméterek értékeinek nagy a „dinamikája”, az inverzió stabilitásának érdekében a modellparaméterek logaritmusának sorba fejtésére is van lehetőség. (Ilyen függvények használatakor az együttes inverzió csak korlátozottan valósítható meg.)

A SH refrakciós 2-D direkt feladat megoldását is felvettük az együttes inverziós módszer választékai közé. A horizontálisan poláros transzverzális refraktált (SH) hullámok direktfeladat-megoldó algoritmusát a már kipróbált P-hullám közelítő ray-tracing módszerre alapozva készítettük el. Ez a szeizmikus (rugalmas) paraméterek meghatározásának lehetősége terén jelent előrelépést. A terepi adatokon való parallel inverziós vizsgálatok is megtörténtek, amelyek eredményeként a teszterületünkön longitudinális hullámokkal a talajvízszint felszínét, míg a transzverzális hullámokkal a mélyebben fekvő közzethatárt sikerült kimutatni. Sikerült bebizonyítani, hogy mindkét sebességre szükség van a féltér pontos leírására. A sebességekből a felszínközeli geológiai szerkezetek rugalmas állandóit is sikerült meghatározni. Az együttes inverziós eredmények publikálását a közeljövőben tervezzük.

¹ Miskolci Egyetem, Geofizikai Tanszék,
H-3515 Miskolc-Egyetemváros

² GES Kft., H-1151 Budapest, Szántófold út 7–9.

Speciális inverz feladatok

A sorfejtéses technikát az eddigi „klasszikusan” alkalmazott inverziós módszereken kívül más inverz feladatok megoldásában is felhasználhatjuk. E kutatómunka keretében két ilyen területen is születtek eredmények.

A refrakciós idő adatok kiértékelésére széleskörűen alkalmazott és kedvelt GRM „közvetlen inverziós” eljárás egyik, pontatlanságot okozó hiányosságának (amelynek oka az XY kilépési távolságok szelvény menti változatlan-sága) feloldására történtek fejlesztések. Ezen belül a lokális rétegdőlések hatásának korrigálásával, és a refrakciós „migráció” alkalmazásával kapcsolatban is értünk el sikert. Ezen kívül az XY kilépési távolságokat a szelvény menti távolság folytonos függvényeként is értelmezhetjük, és ekkor az XY távolságok változását sorba fejtett függvényekkel közelíthetjük. Ezzel a GRM közvetlen inverzió néhány lépéses iteratív inverz módszerre alakult. A kifejlesztett eljárás algoritmusára program készült (MatLab). A fejlesztések eredményeit szintetikus és analóg szeizmikus modell adatokon vizsgáltuk — eredménnyel. Az indukált polarizáció (IP) a környezeti foltok, főként a hulladéklerakók kimutatásának és jellemzésének az egyik igen hatékony geofizikai módszere. A mérési adatok feldolgozásának egyik fontos módszere a TAU-transzformáció, amely a ME Geofizikai Tanszékén került kifejlesztésre. Amennyiben az időállandó spektrumot folytonos függvénnyel közelíthetjük, a TAU-transzformációt általánosíthatjuk azáltal, hogy a spektrumot sorba fejtett függvényekkel közelítjük, és a mért polarizációs adatokból a sorfejtési együtthatókat inverziós technikával becsüljük. Ezen új módszer megvalósítására algoritmust és számítógépi programot fejlesztettünk, egy másik OTKA kutatási témával együttműködésben. A kifejlesztett program a Csebisev- és intervallumonként konstans bázisfüggvények szerinti sorfejtést alkalmazza. A módszert sikerrel próbáltuk ki terepi mérési adatokon.

Együttes inverz feladat elérő réteghatárokkal

Az eltérő réteghatárokat kezelni képes együttes inverziók a felszínközeli struktúrák kutatásában nagyon fontos szerepet játszhatnak. E területen az együttes inverzió egy új módszerének algoritmizálása és programozása történt meg.

Ebben az esetben az együttes inverzió megvalósíthatóságának alapfeltétele az, hogy a különböző, az inverzióban részt vevő geofizikai módszerek modelljeiben legyen közös paraméter, azaz közös ismeretlen — jellemzően a rétegvastagságok, illetve az azokat jellemző sorfejtési együtthatók. Korábbi vizsgálataink bebizonyították, hogy együttes inverzió eltérő réteghatárokkal úgy is megvalósítható, hogy a különböző geofizikai módszerek modelljeinek réteghatárai nem egyeznek meg. Ez úgy érhető el, hogy a réteghatárokat leíró, azonos bázisfüggvény szerinti függvényeket különböző hosszúságúra választjuk, azaz az ismeretlenek között nem mindegyik megegyező. E kutatás keretében kifejlesztett eljárás ezzel szemben nem a sorfejtési együtthatók megegyezésére alapozza az együttes inverzió megvalósítását, hanem a modellparaméterek terében ír elő — előzetes geológiai ismeretekből megszerezhető — összefüggéseket a réteghatárok között (például réteghatárok egyezősége, párhuzamos eltolás stb.).

Ezen összefüggéseket a sorfejtési együtthatók terében egyenletek formájában írjuk le, amelyeket mint regularizációs egyenlőségeket az inverz probléma megoldásának normálegyenletének kiszámítása során veszünk figyelembe. Ezzel lehetőség nyílik arra, hogy különböző bázisfüggvények szerinti sorfejtés alkalmazásával is megvalósítható legyen az eltérő réteghatárokat lehetővé tevő együttes inverzió. A regularizációs egyenleteket súlyozva vesszük figyelembe. Ezzel a geofizikai módszerek egymásra hatásának „erősségét” szabályozhatjuk. Kis súlyokat alkalmazva a módszerek egymásra hatása kicsi lesz, gyakorlatilag két egymástól független szóló inverziót hajtunk végre egy inverziós számítási procedúrában. Nagy súlyok alkalmazásával az együttes inverziós algoritmus „szigorúan” veszi figyelembe az előírt kapcsolatot.

A módszer és algoritmus lehetőséget teremt arra a speciális eset együttes inverzióként való megvalósítására is, amikor a priori tapasztalati összefüggések állnak rendelkezésünkre a modellek fizikai paraméterei között is (pl. Fajlagos ellenállás és sebesség).

3-D problémák megoldásának vizsgálata

A 3-D problémák megoldásának vizsgálatára kezdeti lépéseket tettünk. Meggyőződésünk, hogy megbízható becslést felszínközeli geológiai szerkezetekre csak a 3-D inverz feladat megoldásával lehet adni. A ME Geofizikai Tanszékén folyó fejlesztések a sorfejtéses inverziós technika terén reményt nyújtanak arra, hogy az általában igen nagy méretű 3-D inverz feladatokat a gyakorlatban még elfogadható közelítések felhasználásával megbízhatóan és viszonylag gyorsan meg lehessen oldani.

Ennek keretében a már említett kombinált inverzióval szintetikus adatok segítségével sikerült olyan modell paramétereit megbecsülni, amely 2-D modellben az egyik „rétegnak” a harmadik dimenzió irányában is volt kiterjedése. Ez az eredmény ebben az irányban való továbbkutatásra ösztönöz.

A felületi hullámok diszperziós adatainak közelítő 3-D szimultán sorfejtéses inverz feladatát egy másik OTKA kutatási téma keretében oldották meg, amelyre algoritmus és program készült. A tomográfiai eljárások sajátjaiból adódóan azonban a kutatási területek szélein bizonytalanok a sorfejtési együtthatók becslései, és ezáltal a modellparaméterek is pontatlanok, megbízhatatlanok. E probléma kiküszöbölésére a közelítő 3-D szimultán inverz feladatot együttes inverzióvá fejlesztettük, amely során a kutatási terület szélein telepített refrakciós mérések adatait „lokálisan” 2-D direkt feladat megoldásával integráltuk az inverzióba. Mind a felületi hullám módszerhez, mind a refrakciós módszerhez ugyanazon sorfejtési együtthatók tartoztak. A módszer helyes működéséről szintetikus adatokon való ellenőrző számításokkal győződünk meg.

Köszönetnyilvánítás

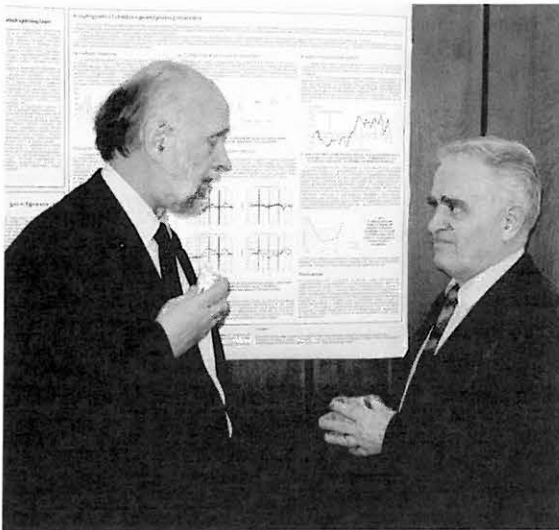
A T 037842 számú OTKA kutatás 4 éves futamideje alatt az együttes inverzió számos részlet- és stratégiai kérdésével foglalkoztunk. Az elért eredményeket tudományos konferenciákon (EAGE, EEGS, EGU) a nemzetközi szakmai közösség elé tártuk. E konferenciákon elhangzott ref-

lexiókat is figyelembe véve további folyóiratcikkek is készültek, készülnek. A megkezdett munkát és az eddigi eredményeket — elsősorban a 3-D leképezést tekintve — más OTKA témák keretében folytatni fogjuk, és fel tudjuk használni.

Végezetül kutatótársaim és a közreműködő hallgatók nevében is köszönetet mondok a szíves támogatásért.

AZ OTKA TÁMOGATÁSÁVAL MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

- BÁLINT T., FICSÓR L., PETHŐ G., TÖRÖK I. 2002: Some detectability aspects of FEM using HED sources, EEGS–ES 8. konferencia, Aveiro, Portugália, 2002. szeptember 8–12.
- DARAGÓ A., ORMOS T. 2004: Development on Generalized Reciprocal Method. EAGE Near Surface konferencia, Utrecht, 2004. szeptember 6–9. P040. ISBN 90-73781-37-X
- GYULAI Á., ORMOS T. 2004: New geoelectric-seismic joint inversion method to determine 2-D structures for different layer thicknesses and boundaries. Geophysical Transactions **44**, 273–299
- DARAGÓ A. 2004: Refrakciós kiértékelési eljárások összehasonlítása fizikai modellen mért adatok segítségével. XXXV. Ifjú Szakemberek Ankétja, Sárospatak, 2004. március 19–20.
- TURAI E. 2004: IP Data processing results from using TAU-transformation to determine time-constant spectra. Geophysical Transactions **44**, 301–312
- DARAGÓ A., ORMOS T. 2005: Parallel inversion of refracted travel times of P and SH waves using function approximation. Acta Geod. Geoph. Hung. **40**, 2, 215–228
- TURAI E., DOBRÓKA M. 2005: New results in the Waste Site characterization using TAU-transformation of Time-Domain IP Data. EGU közgyűlés, Bécs, 2005. április 24–29.
- BARACZA K., GYULAI Á., ORMOS T., SZABÓ I., TURAI E., DOBRÓKA M. 2005: The exploration of waste sites by means of geoelectric and seismic methods. EGU közgyűlés, Bécs, 2005. április 24–29, EG05-A-05597;MPGR11-1WE4P-0312
- DOBRÓKA M., ORMOS T. 2005: 3D approximate joint inversion of refraction traveltimes and guided wave dispersion. EAGE Near Surface konferencia, Palermo, 2005. szeptember 4–7, P064. ISBN 90-73781-914
- TURAI E., DOBRÓKA M. 2005: Hulladéklerakók jellemzése az IP adatok TAU-transzformációja segítségével/Characterization of the Waste Sites using TAU-Transformation of IP Data. Környezettudományi Konferencia, 2005. március 17–18, Kolozsvár, Sapientia-EMTE
- ORMOS T. 2006: Joint Inversion in Exploration of Near Surface Geological Structures. MTA–MGE–ME Inverziós Ankét, Miskolc, 2006. március 20–21.
- KAVANDA R., GYULAI Á., ORMOS T. 2006: Combined Function Inversion Method. EAGE 68. konferencia és kiállítás, Bécs, 2006. június 12–15, P221. ISBN 90-73781-00-0
- ORMOS T. 2006: Kinematic Inversion of Refracted First Breaks using a function approximation. Near Surface Geophysics (elbírálás alatt)



ORMOS Tamás és BARÁTH István



DOBRÓKA Mihály

Geo-hidrodinamika: Folyadékdinamikai jelenségek a Föld belsejében

CSEREPES LÁSZLÓ¹ (témavezető), DÖVÉNYI PÉTER¹ (témavezető), GALSA ATTILA¹,
LENKEY LÁSZLÓ², MIHÁLFFY PÉTER³, SÜLE BÁLINT⁴

OTKA nyilvántartási szám: T 037980 (2002–2005)

A geo-hidrodinamika tárgykörén belül a földköpenyben zajló termikus konvekciót, illetve a porózus rétegben zajló hidrotermális áramlást vizsgáltuk. Előbbinél a kutatás a köpeny nagyskálájú áramlási szerkezetére, azon belül a felszálló ágakat alkotó köpenyhóoszlopok geometriájának, illetve felszíni megnyilvánulásainak megismerésére irányult. Utóbbinál az anizotróp porózus kőzetekben a felszíni hidraulikus nyomásgradiens és a termikus felhajtóerő együttes hatására kialakuló áramlási rendszerre koncentrált.

L. CSEREPES, P. DÖVÉNYI, A. GALSA, L. LENKEY, P. MIHÁLFFY, B. SÜLE: Geo-hydrodynamics: fluid dynamical phenomena in the Earth's interior

Within geo-hydrodynamics the thermal convection in the Earth's mantle and the hydrothermal flow in an unconfined porous layer have been investigated in detail. In the former case the large-scale mantle flow system as well as the geometry and the surface manifestations of hot mantle plumes were addressed. In the latter one we concentrated on the groundwater flow pattern in anisotropic porous rocks driven by hydraulic gradient and thermal buoyancy.

Bevezetés

A Föld belsejében zajló áramlások témakörén belül a kutatásnak két fő célkitűzése volt, a földköpenyben zajló termikus konvekció nagyskálájú áramlási rendszerének megismerése, illetve a földkéreg porózus kőzeteiben történő felszín alatti vízáramlás vizsgálata. Habár a kétfajta áramlás eltér egymástól, mégis a fizikai folyamatok s az azokat leíró egyenletek hasonlósága miatt érdemes és indokolt a feladatok együttes kezelése. Mindkét témakör vizsgálatánál numerikus modellezést alkalmaztunk.

A termikus földköpeny-konvekció egyik legaktuálisabb kérdése, hogy hol található a köpenyhóoszlopok (mantle plume) forrástartomány. MORGAN [1971] klasszikus elképzelése szerint a Föld felszínén észlelt forrófoltok (hotspot) alatt a köpeny mélyebb rétegeiből közel henger-szerűen emelkedő meleg anyagáramlatokat kell elképzelni. Ezt támasztja alá a forrófoltok pozitív hőáram- és geoidanomáliája, topográfiája [SEIDLER et al. 1999], élő vulkanizmusa, mely nem ritkán a litoszféralemezek belsejében jelentkezik. A kutatás egyik fő célja annak megismerése volt, hogy az áramlást irányító fő fizikai paraméterek, a Rayleigh-szám, a mélységfüggő viszkozitás, a belső radioaktív hőtermelés, hogyan befolyásolják a konvekció jellegét, a kialakuló köpenyhóoszlopok geometriai tulajdonságait, felszíni megnyilvánulásait. Továbbá olyan feszítő

kérdésre próbáltunk választ találni, hogy a földköpenyben zajló áramlási rendszer egyréteges (teljes köpeny konvekció), avagy kétréteges (izolált felső és alsó köpeny konvekció), tehát a forrófoltok alatt létező köpenyhóoszlopok a köpeny–mag határnál, avagy a 660 km-es ásványtani fázishatárnál születnek.

A porózus kőzetekben zajló felszín alatti vízáramlás hajtóereje sok esetben a hidraulikus nyomásgradiens. Azonban nem ritkán — különösen a Kárpát-medencében — a magas geotermikus gradiens miatt fellépő termikus felhajtóerő képes befolyásolni az áramlási képet. A kutatás alatt azon kérdésre kerestük a választ, hogy a felszínen előírt hidraulikus nyomásgradiens, illetve a modelldoboz alján előírt nagy hőmérséklet miatt fellépő termikus konvekció együttes hatására milyen áramlási szerkezet alakul ki. Szisztematikus vizsgálatot folytattunk annak megismerésére, hogy a hidraulikus nyomásgradiens és a Rayleigh-szám viszonya, valamint a közeg hidraulikus vezetőképesség anizotrópiája hogyan változtatja a felszín alatti vízáramlási képet.

Termikus konvekció a földköpenyben

A vizsgálat célja az volt, hogy információt nyerjünk a földköpenyben zajló termikus konvekció szerkezetéről, különös tekintettel annak legkevésbé ismert ágára, a felemelkedő meleg köpenyhóoszlopokra. Az áramlás kvalitatív és kvantitatív elemzéséhez két- és háromdimenziós numerikus modellezést használva figyeztük a konvekciót leíró átlagolt fizikai paramétereket, valamint a kifejlődő meleg hóoszlopok tulajdonságait. Szisztematikus modellsorozatban tanulmányoztuk a Rayleigh-szám, a mélységfüggő viszkozitás és a belső radioaktív hőtermelés hatását a felszíni hőáramra, az átlagos sebességre, a termikus határréteg-vastagságra, a kifejlődő hóoszlopok számára, továbbá a modelldobozban kialakuló feláramlás geometriai szerkezetére

¹ ELTE Geofizikai Tanszék, H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.

² MTA–ELTE Geológiai, Geofizikai és Űrtudományi Kutatócsoport, H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.

³ Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Meteorologie und Geophysik, Feldbergstrasse 47, D-60323 Frankfurt am Main, Deutschland

⁴ MTA GGKI Szeizmológiai Observatórium, H-1112 Budapest, Mérédek u. 18.

(hőoszlopátmérő, hőmérséklet-anomália), illetve a feláramlás által előidézett felszíni megnyilvánulásokra (hőáram-, geoidanomália, topográfia).

A numerikus modelleredmények alapján a felszíni anomáliák amplitúdója jobban megfelel a Föld felszínén észlelt jellemzőknek (geoid, topográfia stb.), ha a köpenykonvekció kétréteges formában, a 660 km-es ásványtani fázishatár által impermeabilisan elválasztva zajlik. Ugyanakkor ezen anomáliák horizontális kiterjedése azt sejteti, hogy az áramlás egyréteges, vagyis az áramlási rendszer egységes, és a teljes köpenyre kiterjed. A lényeges különbség a két modell között, hogy míg előbbinél a felszíni forrófoltok alatt létező köpenyoszlopok forrás-tartománya a 660 km-es fázishatár, addig az utóbbi esetben a köpeny-mag határ, vagy a közvetlenül felette elhelyezkedő D''-réteg.

A numerikus modellek és a valós köpenyáramlások közötti különbség legerőteljesebben a hőoszlop és környezete közötti hőmérséklet-különbségben érhető tetten, ezért érdemes ezen eltérés okát kicsit részletesebben is taglalni. A mélységfüggő viszkozitást tartalmazó numerikus modellekben az említett dimenziótlan hőmérséklet-különbség 0,65–0,75, mely a teljes köpeny konvekciót feltételező modellparaméterek felhasználásával 1800–2200 K-nek felel meg. Ezen érték jelentősen meghaladja a szeizmikus tomográfiából következtetett 200–300 K értéket [BIJWAARD, SPAKMAN 1999]. Ugyanakkor a belső radioaktív hőtermelés felfűti a modelltartományt, csökkentve a hőoszlop és környezete közötti hőmérséklet-különbséget. Továbbá az összetettebb modellek egyértelműen tanúsítják, hogy a csökkent viszkozitású asztenoszféra és D''-réteg, valamint a nagy viszkozitású litoszféra modellezésével ezen hőmérséklet-különbség 700 K-re csökken. A kapott eredmény még mindig nagyobb a becsült földi értéknél, de a — hazai viszonylatban úttörő jellegű — mélység- és hőmérsékletfüggő viszkozitással végzett szimulációk a hőmérséklet eltéréseinek további csökkenését mutatják. A későbbiekben újabb fontos kutatási feladat lenne az eddig alkalmazott Boussinesq-approximáció helyett egy sokkal pontosabb közelítés, az anelasztikus-cseppfolyós közelítés használata, amelyben az adiabatikus munkából származó hő tovább hűtené a feláramló meleg hőoszlopokat, így téve a numerikus modelleket realisztikusabbá.

A kutatás alatt tanulmányozott komplex modellek, melyek a földköpenyt már hozzávetőlegesen jól írják le (szuperkritikus Rayleigh-szám; a mélységgel 1–2 nagyságrenddel növekvő viszkozitás; alsó és belső fűtési mód; litoszféra, asztenoszféra, D''-réteg jelenléte) azt sejtetik, hogy a köpenyben zajló termikus konvekció inkább egyréteges, mintsem kétréteges formában zajlik [SÜLE 2005].

A kutatás során egy új módszert fejlesztettünk ki, és alkalmaztunk a földköpenyben valószínűsíthető hőoszlopok forrástartományának meghatározására. Ismert, hogy a Föld felszínén — a különböző listák alapján — mintegy 40–100 forrófolt található [pl. STEINBERGER 2000]. Ezek dimenziótlan területi sűrűsége 2–6, ha a teljes köpeny vastagságát használjuk egységül, azaz egyréteges áramlási rendszert feltételezünk. Ugyanakkor a forrófoltok területi sűrűsége mindössze 0,04–0,10, ha kétréteges köpenykonvekciót feltételezünk, vagyis a felső köpeny vastagságát használjuk dimenziótlanításra. Elfogadva a klasszikus hipotézist, mely szerint a forrófoltok alatt a

köpenyanyag hengerszerű feláramlásai találhatók, megvizsgáltuk a különböző fizikai paraméterek hatását a modelldobozban kifejlődő hőoszlopok területi sűrűségére, hogy összehasonlítsuk a felszíni forrófoltok sűrűségével.

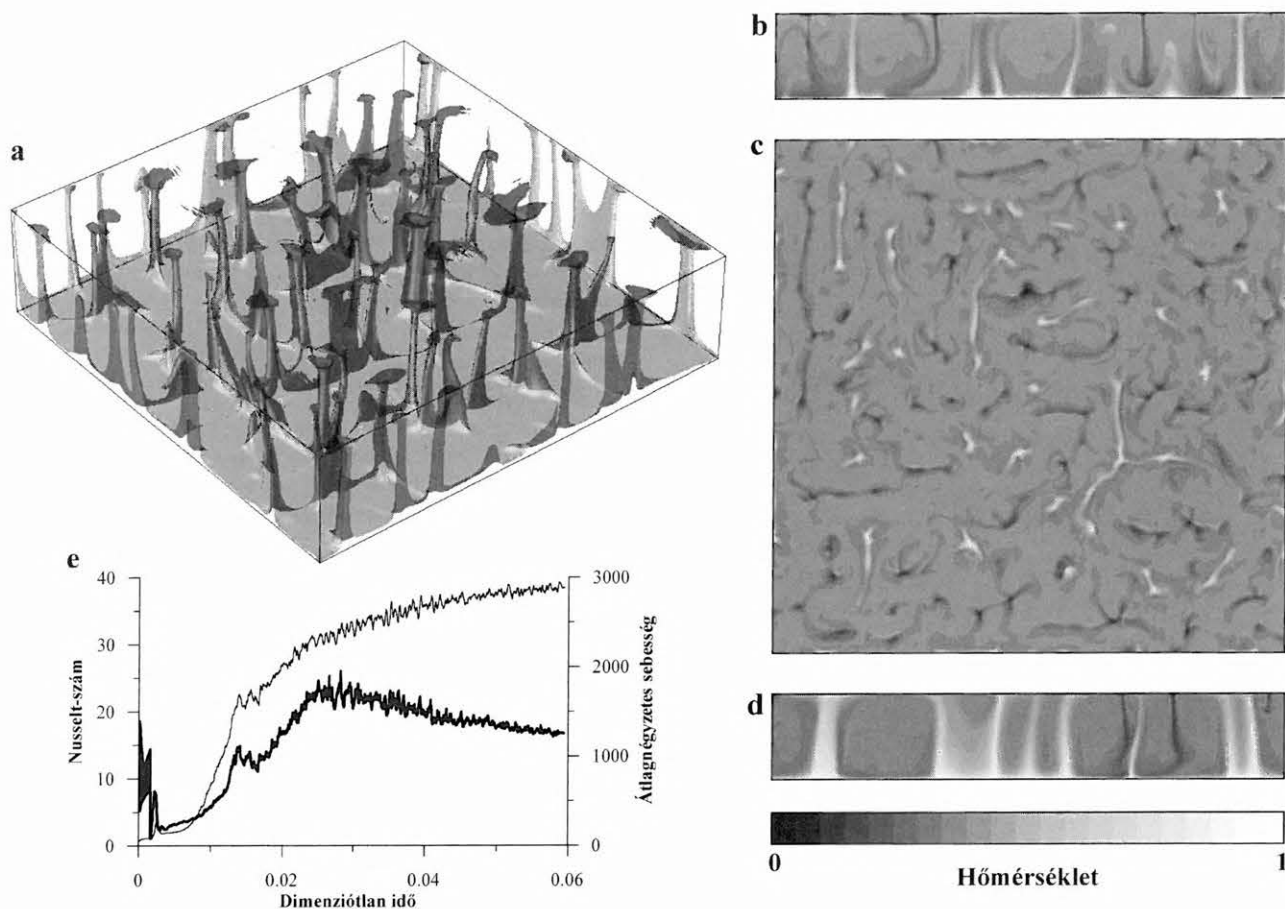
Szisztematikus modellszámítás-sorozatokat végeztünk annak megállapítására, hogyan függ a modelldobozban kifejlődő hőoszlopok száma, vagy területi sűrűsége a köpenyáramlást irányító három legfontosabb fizikai paramétértől, a Rayleigh-számtól, a mélységfüggő viszkozitás nagyságától, illetve a belső radioaktív fűtés mértékétől. Megállapítottuk, hogy mindhárom paraméter befolyásolja a feláramlások sűrűségét, s kimutattuk, hogy a kapcsolat az alsó termikus határrétegen keresztül történik a következőképpen:

- a belső fűtés növeli a cellahőmérsékletet, így csökkenti az alsó termikus határréteg vastagságát, s ezért növeli a feláramlások számát;
- a mélységgel növekvő viszkozitás lecsökkenti az áramlási sebességet és az advekciót a mélyebb rétegekben, így hűti a modelldobozt, melynek következtében megnő az alsó termikus határréteg vastagsága, s lecsökken a feláramlások száma;
- a növekvő Rayleigh-szám fokozza az áramlás hevességét, csökkenti az alsó határréteg-vastagságot, s növeli a feláramlások számát.

Kvantitatíve kimutattuk, hogy a feláramlások területi sűrűsége az alsó határréteg vastagságával fordítottan arányos [GALSA 2003].

Földköpenyszerű modellek esetén (szuperkritikus Rayleigh-szám, a mélységgel 1–2 nagyságrenddel növekvő viszkozitás, vegyes alsó és belső fűtés) a kifejlődő hőoszlopok dimenziótlan területi sűrűsége a 0,2–1 intervallumban található (1. ábra). Ez azt jelenti, hogy a feláramlások területi sűrűsége az egy-, illetve kétréteges köpenykonvekciót feltételező értékek között helyezkedik el. Ennek alapján a 660 km-es ásványtani fázishatár által impermeabilisan elválasztott kétréteges, az alsó és a felső köpenyben izoláltan zajló, áramlási rendszer nagy valószínűséggel zárható, hiszen ekkor — a modellekből számított feláramlássűrűséget használva — több mint 900 forrófoltnak kellene léteznie a Föld felszínén.

A hőoszlopok területi sűrűségére kapott köztes érték egy olyan együtt létező egy- és kétréteges áramlási rendszert valószínűsít, melyben az endoterm fázishatár gátolja a vertikális tömegtranszportot, ugyanakkor teljes mértékben megakadályozni nem képes [GALSA, CSEREPES 2003]. Egy ilyen áramlási rendszerben léteznek a köpeny-mag határon születő, de a 660 km-es határt áttörni nem képes kis felhajtóerővel bíró feláramlások (alsó köpeny hőoszlop), valamint a 660 km-es termikusan instabil fázishatáron eredő és a felszínre elérő feláramlások is (felső köpeny hőoszlop). Továbbá létezniük kell olyan feláramlásoknak is, melyek forrástartománya a köpeny-mag határ, de képesek áthatolni a szemimpermeabilis 660 km-es ásványtani fázishatáron, s a felszínre elérve jelentős geofizikai, geológiai, geokémiai anomáliával bíró forrófoltot létrehozni (teljes köpeny hőoszlop). Az ilyen összetett áramlási rendszert feltételező elképzelés nem egyedülállóan új hipotézis. A legújabb véges frekvenciás szeizmikus tomografikus eredmények alátámasztani látszanak a numerikus modellekből már sejtett, s ezen kutatással is alátámasztott eredményeket [MONTELLI et al. 2004].



1. ábra. A hőmérséklet-eloszlás pillanatképe egy háromdimenziós modelldobozban 0,0594 dimenziótlan időnél földköpenyszerű paramétereloszlás esetén (Rayleigh-szám $3 \cdot 10^7$, a viszkozitás a mélységgel 30-szorosára növekszik, vegyes alsó és belső fűtés). (a) Az izotermafelületek perspektivikus képe 0,51 dimenziótlan hőmérsékletnél. (b)–(d) A hőmérséklet-eloszlás vertikális és félmélységben számított horizontális metszetei. (e) A Nusselt-szám (dimenziótlan felszíni hőáram — vékony vonal) és az átlagnégyzetes sebesség (vastag) időbeli változása. Az ábrázolt paraméterek dimenziótlan mennyiségek

Fig. 1. Snapshot of the temperature distribution in a 3D model box at non-dimensional time of 0,0594 using parameters describing the mantle (Rayleigh number of $3 \cdot 10^7$, viscosity increasing with the depth by a factor of 30, mixed basal and internal heating).

(a) Perspective picture of the isotherm of 0.51. (b)–(d) The vertical and the horizontal (calculated at middepth) sections of the temperature field. (e) The Nusselt number (non-dimensional surface heat flux — thin line) and the root-mean-square velocity (thick) as a function of the non-dimensional time. Parameters plotted in the figure are non-dimensional

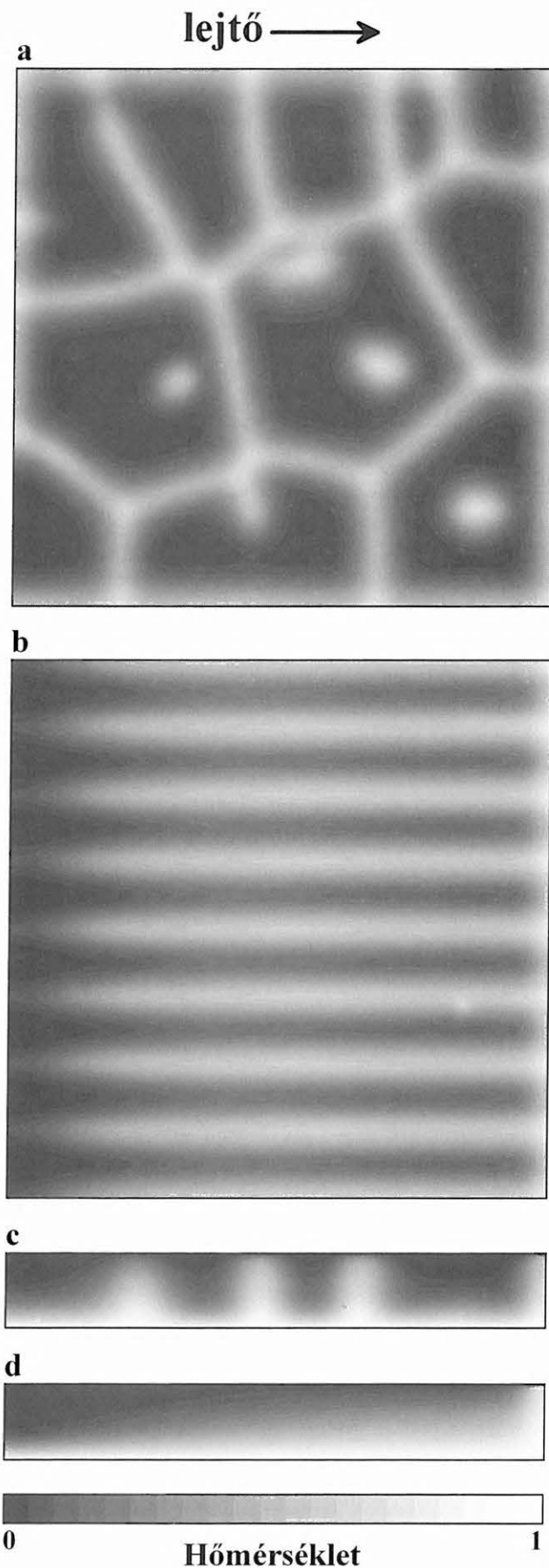
Hidrotermális konvekció porózus kőzetekben

A kutatás ezen részében elsősorban azt tanulmányoztuk, milyen mértékben befolyásolja a porózus kőzetekben zajló felszín alatti vízáramlást a hidraulikus nyomásgradiens, a termikus konvekció, illetve a közeg vízvezető-képesség anizotrópiája. A háromdimenziós numerikus szimulációknál a felszínen lineáris hidraulikus lejtést írtunk elő, a modelldoboz alján a hőmérséklet nagyobb volt, mint a felszínen. Ennek következtében a hidraulikus nyomásgradiens és a termikus felhajtóerő (Rayleigh-szám) közösen alakította ki az áramlást.

Abban az esetben, amikor a hidraulikus gradiens csekély a felhajtóerőhöz képest, az áramlási képet a termikus konvekcióhoz hasonló szabálytalan poligonális, időben változó cellák alkotják (2a. ábra). A hidraulikus nyomásgradiens növelésével a felszín alatti vízáramlási kép módosul, a poligonális szerkezetet a lejtő irányában elnyúló, longitudinális szerkezetű stacionárius áramlás váltja fel (2b. ábra). Ilyen átmeneti tartományban a hidraulikus nyomásgradiensből származó erő, illetve a termikus felhajtóerő egyaránt

szerepet játszik az áramlás kialakításában. Tovább növelve a hidraulikus lejtés nagyságát a lejtő irányára merőleges, transzverzális hengerek alakulnak ki, melyek a lejtőn lefelé sodródnak (2c. ábra). Amikor a termikus felhajtóerő szerepe elhanyagolhatóvá válik a hidraulikus nyomásgradienshez képest, az áramlási képre kapott megoldás a lejtőre merőleges tengelyű félcellás, időben stabil szerkezetet mutat (2d. ábra) [CSEREPES, LENKEY 2004].

Termikus konvekció és horizontális áramlás hatására kialakuló longitudinális cellák (2b. ábra) nem csak porózus közegben alakulnak ki. Ilyen kombinált áramlás előfordul a meteorológiában is, mikor a feláramlás intenzív, és a magasabb légrétegekben gyenge szél fúj. Ilyenkor a felhők egymással párhuzamos sávokba rendeződnek, ami analóg a kapott longitudinális cellaszerkezettel. A köpenykonvekció esetén is előfordulhat hasonló jelenség. Modellszámítások alapján feltételezhető, hogy az óceánközépi hátságtól távolodva a litoszféra hűlése során az asztenoszféra kis méretű konvekciós cellák alakulnak ki (small scale convection). Mivel azonban a litoszféra mozog, ezek a cellák úgy állnak be, hogy a tengelyük párhuzamos lesz a li-



2. ábra. A dimenzióatlan hőmérsékleteloszlás különböző Rayleigh-szám (Ra) és hidraulikus nyomásgradiens (G) viszonyok esetén.
 (a) Az áramlást a termikus konvekció hajtja; időben változó, szabálytalan poligonális cellaszerkezet, $Ra=140$, $G=0$.
 (b)–(c) Az áramlást a termikus konvekció és a hidraulikus nyomásgradiens közösen vezérli; (b) stacionárius longitudinális (lejtőirányú) áramlási hengerek, $Ra=120$, $G=20$; (c) transzverzális, a lejtőn lefelé sodródó hengerek, $Ra=60$, $G=6$.
 (d) Az áramlást a hidraulikus nyomásgradiens hajtja; stacionárius félcellás szerkezet, $Ra=60$, $G=20$

Fig. 2. The non-dimensional temperature distribution at different values of the Rayleigh number (Ra) and the hydraulic gradient (G). (a) The flow is driven by thermal convection; time-dependent irregular polygonal cell structure, $Ra=140$, $G=0$. (b)–(c) The thermal buoyancy and the hydraulic gradient form together the flow pattern; (b) stationary longitudinal rolls, $Ra=120$, $G=20$; (c) snapshot of drifting transverse rolls, $Ra=60$, $G=6$. (d) The flow is driven by the hydraulic gradient, stationary flow pattern showing half-cell structure, $Ra=60$, $G=20$

toszféra mozgásának irányával. Ez szintén analóg mozgásforma a mi általunk modellezett longitudinális áramlással. Itt visszautalunk a bevezetőben mondottakra, hogy ugyan a mozgásegyenlet a köpenyben és a porózus közegben zajló áramlásoknál különbözik, de a konvekció folyamata nagyon hasonló, és ha a határfeltételek is hasonlóak, (hidraulikus nyomásgradiens a porózus közeg esetén, ill. mozgó lemez a köpeny esetén), akkor a kialakuló mozgásformák is nagyon hasonlóak lehetnek.

Az OTKA kutatási projekt keretén belül beszerzett FEFLOW programcsomaggal összehasonlító modellszámításokat végeztünk egy DNy-dunántúli terület esetén annak eldöntésére, hogy egy geotermikus rezervoárból mennyi ideig lehet adott hozam mellett melegvizet kitermelni. Az 500 m vastag rezervoármodell numerikus vizsgálata alapján a következő lényegi megállapítások tehetők:

- Állandó termelés mellett a kitermelt víz lehűlésének ideje az áramló víz fluxusával (Darcy-sebességével) fordítva, a rezervoár térfogatával egyenesen arányos.
- A minél hosszabb ideig tartó és biztonságos kitermelés érdekében ajánlott csökkenteni a Darcy-sebességet és növelni a víz által átjárt térrész nagyságát minél több termelő, illetve visszasajtoló kút építésével.
- Több termelő és visszasajtoló kút csökkenti annak a kockázatát is, hogy a kutak között a víz néhány széles repedésen keresztül áramoljon, és ezáltal csak a rezervoár kis részéből tudja kisöpörni a hőt.
- A rezervoárból kitermelt hő és az emiatt bekövetkező lehűlés nincs hatással a rezervoár felett elhelyezkedő rétegek hőmérsékletére, és ott a termelés befejezése után sem fog számottevően változni a hőmérséklet, feltéve, hogy a fedővel való hidraulikus kapcsolat elhanyagolható mértékű.

HIVATKOZÁSOK

BIJWAARD H., SPAKMAN W.1999: Tomographic evidence for a narrow whole mantle plume below Iceland. *Earth Planet. Sci. Lett.* **166**, 121–126

- CSEREPES L., LENKEY L. 2004: Forms of hydrothermal and hydraulic flow in a homogeneous unconfined aquifer. *Geophys. J. Int.* **158**, 785–797
- GALSA A. 2003: A forrópontok száma a földköpeny-konvekció két- és háromdimenziós numerikus modelljeiben. Doktori értekezés, ELTE Geofizikai Tanszék, 98 o.
- GALSA A., CSEREPES L. 2003: The number of hotspots in three-dimensional numerical models of mantle convection. *Acta Geod. Geoph. Hung.* **38**, 1, 103–109
- MONTELLI R., NOLET G., DAHLEN F. A., MASTERS G., ENGBAHL E. R., HUNG S.-H. 2004: Finite-frequency tomography reveals a variety of plumes in the mantle. *Science* **303**, 338–343
- MORGAN W. J. 1971: Convection plumes in the lower mantle. *Nature* **230**, 42–43
- SEIDLER E., JACOBY W. R., CAUSAK H. 1999: Hotspot distribution, gravity, mantle tomography: evidence for plumes. *J. Geodynamics* **27**, 585–608
- STEINBERGER B. 2000: Plumes in a convecting mantle: Models and observations for individual hotspots. *J. Geophys. Res.* **105**, 11127–11152
- SÜLE B. 2005: The structure and the surface manifestation of mantle plumes in depth-dependent three-dimensional models. *Acta Geod. Geoph. Hung.* **40**, 1, 89–104



LENKEY László és TILDY Péter, a háttérben FODOR László



SZARKA László



SZEIDOVITZ Győző



GRIBOVSZKI Katalin

Az Ørsted mesterséges hold mágneses mérési adatainak feldolgozása és értelmezése

KIS KÁROLY¹, WITTMANN GÉZA²

OTKA nyilvántartási szám: T 038008

Az Ørsted, a CHAMP és a SAC-C mesterséges holdak által mért mágneses adatsorok teljesítménysűrűség-spektruma a Yule-Walker- és a Burg-féle módszerrel került meghatározásra. A számítások alapján az adatsorok domináns hullámhossztartománya a 210–2160 km intervallumba esett. A CHAMP gravitációs és mágneses méréseiből levezetett térképeken, a Pannon-medence nagyobb kiterjedésű területén, két egymástól független anomália ismerhető fel. Az anomáliák kvantitatív értelmezése a Bayes-féle következtetéssel történt, a földkéregben elhelyezkedő hatók tető- és talpmélysége valamint horizontális kiterjedése került meghatározásra.

K. KIS, G. WITTMANN: Processing and interpretation of the magnetic measurements of Ørsted

The power density spectra of the total magnetic measurements of the Ørsted, CHAMP and SAC-C satellites are obtained by the Yule-Walker and Burg methods. The 210–2160 km dominant wavelength range is determined from the magnetic data series measured by the satellites. Large horizontal gravity and magnetic anomalies are obtained from the CHAMP measurements over the Pannonian basin. The quantitative interpretation of these anomalies is made by the Bayesian inference. The top and bottom depths and the horizontal extensions of the deeper crustal sources are determined.

Az OTKA pályázat keretében elvégzett legújabb vizsgálatok a több mint tíz évvel ezelőtt elkezdődött munka [KIS, WITTMANN 1998; KIS, WITTMANN 2002; KIS 2006] folytatását képezik.

A dán Ørsted, a német CHAMP és az argentin SAC-C a mágneses mérések szempontjából harmadik generációs mesterséges holdnak tekinthetők. Az első generációt a Kozmosz-49 és a POGO sorozat mesterséges holdjai, míg a második generációt a Magsat képviseli. Mindhárom harmadik generációs üreszközt a korábbi tapasztalatok alapján, többek között a földi mágneses tér mérésére tervezték. Ezek a holdak jelenleg is működnek, az elmúlt évekre vonatkozó mérési adatok rendelkezésre állnak, adatsoraik összevethetők. Az Ørsted, a CHAMP és a SAC-C pályára bocsátásának időpontja 1999. február 23, 2000. július 15, illetve 2000. november 18. Az Ørsted és a SAC-C kezdeti pályaelemei hasonlóak, apogeumuk 865 km, illetve 704 km, míg a perigeumuk 649 km, illetve 701 km. A CHAMP pályája kör alakú, kezdeti magassága 454 km volt. Mindhárom mesterséges holdat felszerelték a totális mágneses tér mérésére alkalmas skalár magnetométerrel, az Ørsted és a CHAMP esetében ez overhauser magnetométert jelent, míg a SAC-C hélium magnetométerrel rendelkezik. A mérések pontossága mindhárom esetben $\pm 0,5$ nT.

Amennyiben mágneses anomáliákat kívánunk meghatározni, akkor a Föld magjából származó mágneses teret szeparálni kell az egyéb hatások által létrehozott tértől. A szeparációt a földi mágneses teret leíró sorfejtés alapján, az $n=13$ -ig figyelembe vett együtthatók felhasználásával kiszámított térhez viszonyítva hajtják végre.

A forrás szerinti szétválasztás következtében a mesterséges holdak méréseiből meghatározott mágneses adat-

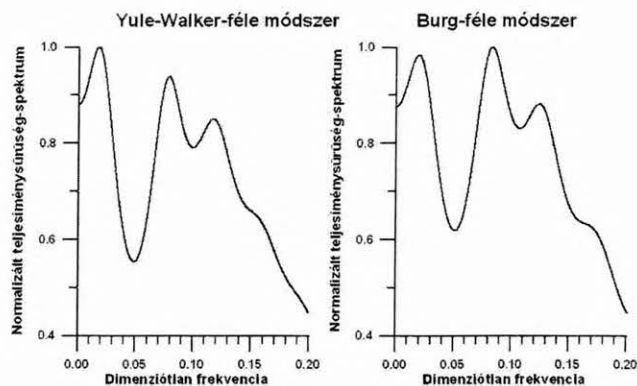
sorok 3000 km-nél rövidebb hullámhosszakat tartalmaznak. Az analízisre felhasznált adatsorok mintavételi távolsága jelen számítások során 5 másodperc, ez mintegy 38 km pálya menti távolságnak felel meg. A szeparációval előállított mágneses anomália-szelvények egy nap időtartamot fednek le. Ezen idő alatt a mesterséges holdak — az átlagos 90 perces keringési időt figyelembe véve — 16-szor kerülnek meg a Földet. Az anomáliaszelvények spektrális analízise alapján meghatározhatók az adatsorokban előforduló domináns hullámhosszak, amelyeknek ismerete szükséges az adatsorokból levezethető anomália-térképek meghatározása során. A lehetséges eljárások közül a Yule-Walker és a Burg-féle módszert alkalmaztuk [KIS, WITTMANN 2006]. A Burg-féle, az entrópia maximalizálásán alapuló eljárást használtuk a Magsat mesterséges hold európai régióra vonatkozó adatsorainak feldolgozása során is [KIS, WITTMANN 2002].

A maximális értékkel normalizált teljesítménysűrűség-spektrumokat dimenzió nélküli frekvencia függvényében ábrázoltuk. Amennyiben az 5 másodperces vagy a 38 km-es mintavételi távolságot osztjuk a dimenzió nélküli frekvenciával, akkor az időbeli vagy a térbeli hullámhosszakat kapjuk meg. Az Ørsted hold méréseiből a 340–2160 km (*I. ábra*), a CHAMP méréseiből a 290–2100 km, míg a SAC-C méréseiből 230–2160 km a meghatározható domináns hullámhossztartomány. Ez a hullámhossztartomány jelentkezik az anomáliatérképek levezetése során.

A mesterséges holdak mágneses méréseiből levezetett anomália-térképek regionális jellegűek, így csak a nagyobb földtani egységek által létrehozott anomáliákat lehet a térképeken felismerni. Az anomália-térképekből becsülhetők az azokat approximáló hatók modellparaméterei. A CHAMP méréseiből meghatározott, a Pannon-medence területére eső jellegzetes gravitációs és mágneses anomáliák kvantitatív értelmezése a Bayes-féle következtetésen alapult. Az alkalmazott szélsőérték feladat numerikus

¹ MTA-ELTE Geofizikai és Környezetfizikai Kutatócsoport,
H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.

² MOL Nyrt. Kutatás-Termelés,
H-1117 Budapest, Budafoki út 79.



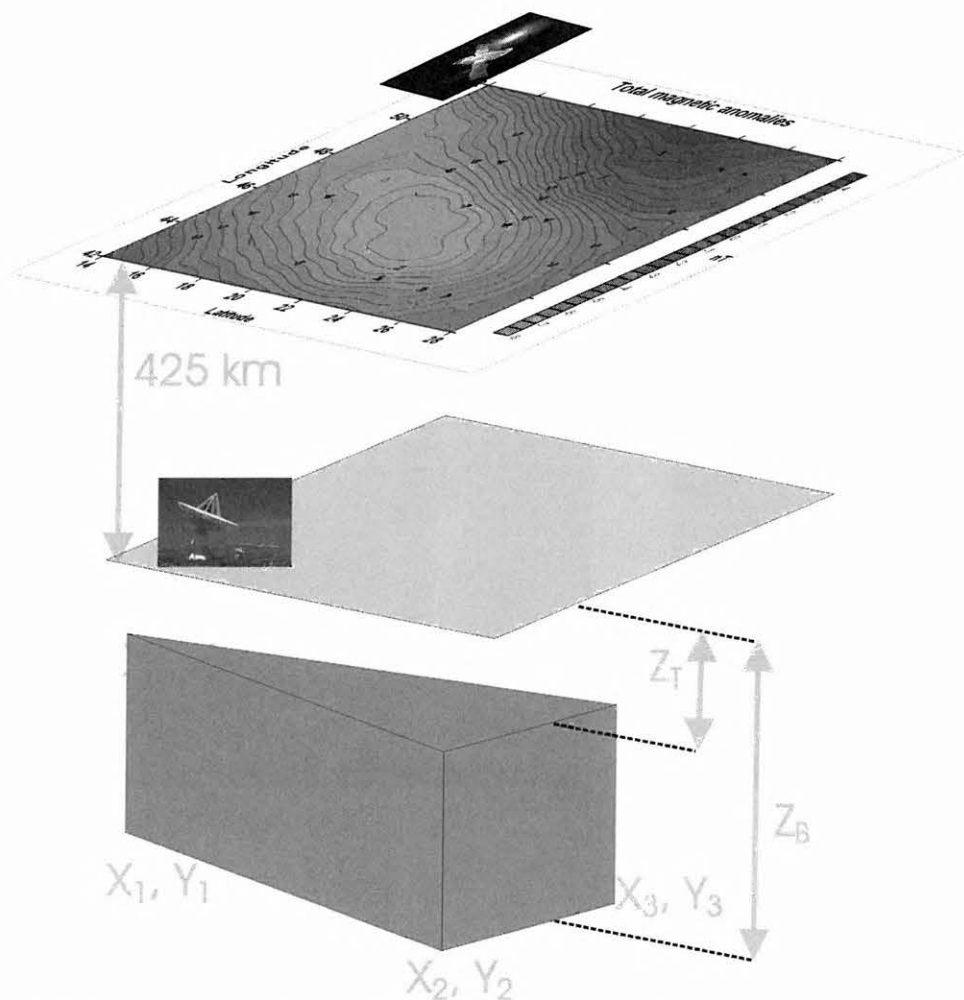
1. ábra. Az *Ørsted* mesterséges hold 2001. augusztus 16-án végzett mágneses méréseiből levezetett idősor Yule-Walker- és Burg-féle módszerrel meghatározott, normalizált teljesítménysűrűség-spektruma a dimenziótlan frekvencia függvényében

Fig. 1. Normalized power density spectra of the time series determined from the magnetic measurements of the *Ørsted* satellite at August 16, 2001. Spectra are determined by the Yule-Walker and Burg methods and plotted versus dimensionless frequency

megoldása a gravitációs anomália inverziója során az L_2 -norma szerint a szimplex algoritmussal történt, míg a mágneses anomália esetében szintén az L_2 -norma szerint a simulated annealing módszer került alkalmazásra [Kis et al. 2005; Kis et al. 2006].

A Pannon-medence déli részén található gravitációs anomália 400 km-es magasságban 2 mGal amplitúdójú. A közel kör alakú anomáliát a Dinári és Kárpát-Balkán tektonikai egységek által határolt medenceszerkezet területén észlelték, amelyet véges kiterjedésű henger modellez. Az anomália által határolt területen a Moho 29 km mélységű. Az inverzióval meghatározott hengermódellem átmérője 260 ± 60 km, tetőmélysége 8 ± 10 km, talpmélysége 31 ± 10 km. A meghatározott ható feltehetően az alsó kéregben található sűrűség-inhomogenitást fejez ki.

A CHAMP mesterséges hold mágneses méréseiből a Pannon-medencén átnyúló ÉNy-DK irányú anomália ismerhető fel. Az anomália 425 km-es magasságban -8 nT-ás minimummal rendelkezik. A hatót létrehozó kéregblokk részben a Tiszai nagyszerkezeti egység területére esik, amelynek mélyebben elhelyezkedő fragmentumai valószínűleg prevariszkuszi, variszkuszi eredetű kristályos metamorf kőzetek. A reverz mágnesezettségű ható óramutató



2. ábra. A CHAMP mesterséges hold méréseiből meghatározott, a Pannon-medence területére eső mágneses anomália perspektivikus képe és az inverzió modellje

Fig. 2. Perspective view of magnetic anomalies over the Pannonian basin determined from the CHAMP measurements and the forward model of the inversion

járásával egyező 60 fokos deklinációja feltehetően a Tiszai mikrolemeznek a miocén során bekövetkezett elfordulását jelzi. A ható középső–déli része alatt elhelyezkedő Vardar–Marosi zóna ofiolit övezete, valamint a Déli-Kárpátok takarórendszerének prevariszkuszi kristályos kőzetei valószínűleg hozzájárulnak az anomália déli részének kialakításához.

Az anomália értelmezése kvalitatív [TAYLOR et al. 2005a, TAYLOR et al. 2005b] és kvantitatív módon [KIS et al. 2006] is megtörtént. A kvantitatív értelmezés eredménye megerősítette korábbi becsléseinket, azaz az anomáliát létrehozó ható reverz, $-1,5$ A/m mágnesezettségű, horizontális kiterjedése ÉNY-i irányból kinyíló háromszög, amelynek tetőmélysége 0 ± 3 km, talpmélysége 14 ± 5 km értékűnek adódott (2. ábra).

A meghatározott hatóparaméterek alapján kiszámításra került a direkt feladat megoldásából származó mágneses tér, illetve a reziduális mágneses tér. A reziduál tér kis amplitúdójú rendezetlen eloszlást mutat. Ez a rendezetlenség a kiválasztott modell adekvát voltára utal.

A nagyobb gépidőt igénylő inverziós számítások a Nemzeti Információs Infrastruktúra Fejlesztési Iroda szuperszámítógépén készültek.

HIVATKOZÁSOK

KIS K. I., WITTMANN G. 1998: Determination of vertical magnetic anomalies and equivalent layer for the European region from

the Magsat measurements. *Journal of Applied Geophysics* **29**, 11–24

KIS K. I., WITTMANN G. 2002: 3D reduction of satellite magnetic measurements to obtain magnetic anomaly coverage over Europe. *Journal of Geodynamics* **33**, 117–129

KIS K. I., TAYLOR P. T., WITTMANN G., KIM H. R., TORONYI B., MAYER-GÜRR T. 2005: Bayesian inference in satellite gravity inversion. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica* **40**, 161–170

KIS K. I. 2006: Derivation of magnetic anomaly maps from the Magsat measurements. *Studia Cartologica* **13**, 233–239

KIS K., TAYLOR P. T., PUSZTA S., WITTMANN G., KIM H. R., TORONYI B., MAYER-GÜRR T. 2006: A CHAMP mesterséges hold mágneses méréseinek értelmezése a Pannon-medence tartományában. *Magyar Geofizika* **47**, 31–35

KIS K., WITTMANN G. 2006: Az Ørsted, a CHAMP és a SAC-C mesterséges hold mágneses méréseinek spektrális analízise. *Magyar Geofizika* **47**, 51–59

TAYLOR P. T., KIS K., VON FRESE R. R. B., KORHONEN J. V., WITTMANN G., KIM H. R., POTTS L. V. 2005a: A különböző kéregvastagság indikálása a CHAMP gravitációs és mágneses mérései alapján. *Magyar Geofizika* **46**, 19–24

TAYLOR P. T., KIS K., VON FRESE R. R. B., KORHONEN J. V., WITTMANN G., KIM H. R., POTTS L. V. 2005b: Effect of varying crustal thickness on CHAMP geopotential data. In: REIGBER CH., LÜHR H., SCHWINTZER WICKERT J. (Eds) *Earth Observation with CHAMP*. Springer 279–286



KIS Károly



KIS Károly és SÜLE Bálint

A Kárpát-medence jelenkori és paleorengéseinek komplex vizsgálata

SZEIDOVITZ GYŐZŐ (témavezető)¹, GRIBOVSZKI KATALIN¹, BUS ZOLTÁN¹,
SURÁNYI GERGELY², GYŐRI ERZSÉBET¹, LEÉL-ŐSSY SZABOLCS³, SCHAREK PÉTER⁴

OTKA nyilvántartási szám: T 038099

Gy. Szeidovitz, K. Gribovszki, Z. Bus, G. Surányi, E. Győri, Sz. Leél-Őssy, P. Scharek: Comprehensive investigation of recent and paleoearthquakes occurred in the Carpathian Basin

1. Examination the geological structures of the potential earthquake sources.

A Geoinformation System (GIS) has come into existence in order to investigate the geological and geophysical surroundings of earth tremors applying ArcView 3.2 software.

Analyses between different layers of the GIS were carried out. The results of the analyses show that although it was possible to find relation between the location of fault zones and the distribution of epicentres it also became clear that all of the Hungarian earthquakes cannot be explained with the help of movements along known tectonic elements.

It was established that the density of epicentres are higher than the average value at the 5 or 10 km wide buffer zones of 20–40 degree slope of pre-tertiary basement.

In accordance with focal depths analysis we were going to verify that earthquakes were produced within more or less consolidated layers inside subsiding basins.

2. Research of kinetic behaviours of stalagmites excited by horizontal acceleration.

Calculating the peak ground horizontal acceleration generated by paleoearthquakes from failure tensile stress of speleothems.

From the parameters of non damaged speleothems can be determined the upper limit of peak horizontal acceleration generated by paleoearthquakes during their formation. In the Hajnóczy and Baradla caves in Hungary some of the suitable speleothems are appropriate for estimating the upper limit of largest earthquakes that occurred in the last few ten thousand years.

In the laboratory the velocity of elastic waves, density and failure tensile stress of speleothem samples have been determined.

The fundamental frequency and damping of speleothems have been measured in cavity. We took samples from dripstones of 5.1 m height in Baradla cave and determined their age. It was established that these speleothems were not excited with a horizontal acceleration more than 0.61 m/s² during the last 70 000 years.

Speleothems were examined in Spanish and Bulgarian caves also.

3. Database of historical earthquakes occurred in Hungary.

The aim of this work was the systematisation of our knowledge about the historical earthquakes of Hungary and to introduce them into a database.

A pályázat „Részletes kutatási terv”-ében három feladatot jelöltünk meg:

1. A Kárpát-medencében és a hozzá hasonló földtani felépítésű térségekben keletkezett földrengések lehetséges okainak tisztázása.
2. Történelmi és paleorengések kutatása.
3. A földrengésekre vonatkozó ismeretanyag rendszerezése és számítógépes adatbázisának elkészítése.

E három kutatási témacsoport eredményeinek részletes kifejtése (az alcímek után zárójelben levő szám a fenti feladatok sorszáma):

A Kárpát-medencében és a hozzá hasonló földtani felépítésű térségekben keletkezett földrengések lehetséges okainak tisztázása (1 és 3)

A földrengések keletkezésének okait vizsgálva, a gerjesztés módja szerint megkülönböztetünk

- a) tektonikus földrengéseket;
- b) nem tektonikus rengéseket (vulkáni tevékenység, barlangbeomlás, bányaomlás, felszín alatti olaj-, gáz- és vízbányászat, valamint robbantások);
- c) süllyedő medencék feltöltésével kapcsolatos földrengéseket.

A Magyarországon keletkezett földrengések tér- és időbeli eloszlásának néhány sajátosságát SZEIDOVITZ, VARGA [1997] egy előző munkájukban már összefoglalták. Megállapították — JÁMBOR, SZEIDOVITZ [1995] kutatásaira hivatkozva —, hogy a földrengés-aktív területek kijelölése földtani, geomorfológiai és geofizikai ismérvek alapján nem volt sikeres. A kudarc okának a földrengés-epicentrumok helyének pontatlansága és a földtani adatok bizonytalansága mellett az elemzés szubjektív módszerét tartották.

¹ MTA GGKI Geodéziai és Szeizmológiai Főosztály, H-1112 Budapest, Meredek u. 18.

² MTA-ELTE Geológiai, Geofizikai és Űrtudományi Kutatócsoport, H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.

³ ELTE Természettudományi Kar, Általános és Történelmi Földtani Tanszék, H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.

⁴ MÁFI, H-1143 Budapest, Stefánia út 14.

Célszerűnek látszott térinformatikai eszközökkel, számítógépes támogatással a vizsgálatokat megismételni. Az elemzésekhez a földrengés-katalógusokban lévő, nem rengések-től származó adatokat (robbantások, kőolaj- és földgázki-termelés, valamint bányá- és barlangbeomlások) ki kellett szűrni [KISZELY 2001; SZEIDOVITZ, BUS, GRIBOVSKI 2004].

A pontosított földrengés-epicentrumokat, valamint a földrengések kipattanásában esetlegesen szerepet játszó földtani, geofizikai és geomorfológiai adatokat GRIBOVSKI [2005] térinformatikai rendszerbe gyűjtötte össze, majd térinformatikai módszerekkel elemezte. A főbb eredményeket a következőkben foglalhatjuk össze:

- Összegyűjtöttük és térinformatikai rendszerbe integráltuk a földrengésekkel kapcsolatba hozható, rendelkezésre álló geológiai és geofizikai térképi adatokat [GRIBOVSKI, SZEIDOVITZ 2000, 2004, 2005, 2006]. Az analóg formában elérhető térképeket digitalizáltuk és tájékoztuk. A digitális formátumban rendelkezésre álló térképek tájékoztató paramétereit pontosítottuk. A rendszer 23 db digitális térképet foglal magában, melyek közül 2 db pont típusú, 3 db vonal és poligon típusú, 3 db vonal típusú és 15 db felületmodell (TIN vagy raszteres) típusú. Az elkészült rendszer segítségével az epicentrumok és a különböző témájú térképek elemei között elemzések végezhetők, melyek segítségével kapcsolatok állapíthatók meg az epicentrumok és a geológiai, geofizikai képződmények elhelyezkedése között.
- Elvégeztük a *Kinematikai és földrengés-epicentrumok térkép* [JÁMBOR, MÓNUS, SZEIDOVITZ 1999] pontosítását és kiegészítését, és a *Magyarországi Földrengések Évkönyvében* (MFÉ) [TÓTH et al. 1996–2003] található hipocentrumok szűrését, hogy előállítsuk a *Makro- és Mikroszeizmikus földrengés-epicentrum térképeket*. A *Kinematikai és földrengés-epicentrumok térkép* eredetileg 213 eseményt tartalmazott, egy eseményhez ábrázolva az összes legnagyobb megrázottságú települést. Több azonos megrázottságú településhez kapcsolódó esemény esetén a rengéssel kapcsolatba hozható leírásokat, földrengés kérdőíveket, makro- és mikroszeizmikus katalógusok adatait tanulmányozva meghatároztuk az epicentrum valószínű helyét. A MFÉ-kben található hipocentrumok felszíni vetületét a térinformatikai rendszerbe integráltuk, és a helymeghatározási hibaértékek alapján szűrtük.
- Elvégeztük az 1996 és 2002 között keletkezett néhány „kritikus” rengés relokalizációját műszeres beérkezési adatok alapján a HYPOINVERSE-2000 program felhasználásával. Ezen rengések hipocentrum-meghatározásainál a makroszeizmikus és a mikroszeizmikus epicentrumok egymástól több, mint 10–15 km távolságra helyezkedtek el. A mély, üledékes medencék speciális sebességviszonyait is figyelembe vevő epicentrum-meghatározások eredményeképpen számos esetben a makroszeizmikus érzékelés és a műszeres helymeghatározás eredményei közeledtek egymáshoz.

A térinformatikai rendszer rétegei és az epicentrumok között a következő kapcsolatokat állapítottuk meg:

- A *Pleisztocénben aktív törésvonalak és süllyedéktérületek térképnek* [SCHWEITZER 1993] a *Magyarország geomorfológiai térképe* [PÉCSI et al. 2000] jelenkori tektonikus elemeivel kiegészített térkép objek-

tumai szignifikáns kapcsolatban vannak mind a makro-, mind a mikroszeizmikus epicentrumok elhelyezkedésével.

- *Magyarország negyedidőszaki mozgásainak térképe* [JÁMBOR, SZEIDOVITZ 1995] objektumai sem a makro-, sem a mikroszeizmikus epicentrumok elhelyezkedésével nem mutatnak szignifikáns kapcsolatot.

- A *Neogene tectonic map of the Pannonian Basin and the Surrounding Alpine-Carpathian-Dinaric Mountains* [HORVÁTH 1993] című térkép hazánk területére vonatkozó törésvonalai az 5 km-nél nagyobb horizontális helymeghatározási hibával rendelkező mikroszeizmikus rengésekkel mutatnak szignifikáns kapcsolatot.

A felsorolt eredmények azt mutatják, hogy bár sikerült kapcsolatot kimutatni a vetőzónák elhelyezkedése és az epicentrum-eloszlás között, azonban bebizonyosodott, hogy a magyarországi rengések összessége nem magyarázható ismert tektonikus szerkezetek mentén bekövetkező elmozdulások segítségével. Továbbá megállapítottuk, hogy

- A *Magyarország geomorfológiai térképén* [PÉCSI et al. 2000] található jelenkori tektonikus elemek közül a vulkáni kúpok és telérek elhelyezkedése szignifikáns összefüggést mutat az 5 és 10 km közötti horizontális helymeghatározási hibájú makroszeizmikus epicentrumokkal.
- A *Minimális és maximális talajvízszintek térképén* [PÉCSI 1989] található hegylábak esetén, a 3,75 km széles bufferzónákkal végzett vizsgálatok szignifikáns kapcsolatot mutattak ki a makroszeizmikus epicentrumok és a hegylábak között.
- A makroszeizmikus epicentrumok az átlagos epicentrum-sűrűségnél nagyobb értékeket mutatnak a harmadidőszaki medencealjzat 20–40°-os lejtésű részeinek 5 és 10 km-es környezetében. Ezeken a területeken azonban törésvonalak is áthaladnak, ezért nem jelenthető ki egyértelműen, hogy a rengések oka minden esetben az üledék medencealjzaton történő megcsúszása.
- Jelenkori mozgásokra utaló nyomokat találtunk a *negyedidőszaki képződmények vastagsága Magyarországon* [FRANYÓ 1992] térkép és a *jelenkori domborzat* szorzattérképének segítségével. A szorzattérképen ki-rajzolódik a Kecskemét környéki földrengés aktív terület — a negyedidőszaki üledék vastagodását a jelenkori domborzat magasságának növekedése is követi —, ugyanez mondható el a nyírségi Hoportyó kiemelkedésének környezetéről is. A szorzattérképen nem tükröződik az Alföld többi aktív területe: a szegedi, a jászberényi, a békési aktív terület stb.

OTKA-kutatásunk ezen feléről részletes cikk jelent meg az *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*-ban [GRIBOVSKI, SZEIDOVITZ 2006].

Történelmi és paleorengések kutatása (2)

A Kárpát-medencében keletkezett földrengésekről 456-tól napjainkig vannak feljegyzéseink, de megbízhatóbb adataink csak az elmúlt 300 évről állnak rendelkezésre. Ha figyelembe vesszük, hogy a lemezekben belüli területeken a nagyobb rengések gyakorisága 10 000 év körül van, nem szükséges további indoklása a paleorengések kutatásának.

Sajnos hazánkban csak az elmúlt néhány évben kezdődtek intenzívebb neotektonikai kutatások a paleorengések

kiderítésére [MAROSI, MESKÓ 1997]. A kutatás kiterjedhet minden földrengések által okozott maradandó nyomra (elvetődések a rétegekben, homokgejzircek, cseppkövek törése, elhajlása stb.) [KÁZMÉR et al. 2000; MAGYARI 2002; MAGYARI, VAN VLIET-LANOE, CSONTOS 2002; MAGYARI et al. 2004].

Az általunk végzett paleorengés-vizsgálatokat cseppkövek segítségével hajtottuk végre. A cseppkövek törésének több oka lehet, ezért figyelmünket nem a törött, hanem a szálban álló karcsú (magasság/átmérő ≥ 20) sztalagmitokra koncentráltuk.

Annak érdekében, hogy az összes hazai perspektivikus barlangot megismerjük — ezek bejárása meghaladta volna az OTKÁ-nk által nyújtott lehetőségeket — felhasználtuk kollégáink [LEÉL-ÖSSY, CZIFRA 2004] más forrásból finanszírozott kutatásait. Ennek köszönhetően került sor az Abaligeti-, a Mészégető-, a Vízfő-, a Trió- és a Szudó-barlangok valamint a Mánfai Kőlyuk vizsgálatára. Sajnos ezekben a barlangokban nem találtak a hivatkozott tanulmányunkban [SZEIDOVITZ et al. 2005] lévő karcsú cseppkövekhez hasonlókat. A legkedvezőbb esetekben is 40 Hz felett volt a sztalaktitok domináns frekvenciája.

Az előzetes tájékozódás során a következő barlangokat jártuk be vizsgálataink céljára alkalmas cseppkövek felkutatására:

— Aggteleki karszt: Meteor-, Béke-, Baradla-, Vass Imre-, Kossuth-barlangok;

— Bükk hegység: Hajnóczy- és Szamentu-barlangok;

— Budai-hegység: Harcsaszájú-, Pálvolgyi- és József-hegyi-barlangok;

— Mecsek: Abaligeti-barlang;

— Villányi-hegység: Nagyharsányi-barlang.

Az előzetes tájékozódás szerint a Balaton-felvidéken és a Bakonyban található barlangokban nincsenek vizsgálataink céljára alkalmas cseppkövek.

A vizsgálatok elvégzésére egy szeizmikus mérésekre kifejlesztett műszert alkalmaztunk. A mérőfejek néhány 100 grammosak, ezért a kisebb tömegű szalmacseppkövek mérésére nem voltak alkalmasak. Az első méréseknél a Hajnóczy-barlangban direkt regisztrálással dolgoztunk. Szándékunk volt visszatérni a barlangba és meghatározni a vizsgált cseppkövek korát, de a cseppkőbarlang védettsége miatt nem engedélyezték számunkra a mintavételezést.

A paleorengés-kutatások legújabb eredményeit az elmúlt években megjelent munkánkban már összefoglaltuk [SZEIDOVITZ, LEÉL-ÖSSY, SURÁNYI 2004; SZEIDOVITZ et al. 2005]. A következő bekezdésekben a kutatás rövid összefoglalását adjuk.

A Magyarország ÉK-i területén található Hajnóczy- és Baradla-barlangokban lévő cseppkövek egy része alkalmas arra, hogy vizsgálatukkal felső becslést adjunk az elmúlt néhány tízezer évben környezetükben keletkezett földrengések erősségére. Az ép cseppkövek paramétereiből megállapítható, hogy jelenlegi alakjuk elérése óta milyen nagyságú horizontális gyorsulásértéknél nagyobb nem terhelhette őket.

Laboratóriumban megmértük a cseppkőmintákban terjedő rugalmas hullámok sebességét, a cseppkőminták sűrűségét és törésszilárdságát. A helyszínen mértük a cseppkövek méreteit, sajátfrekvenciáját és csillapodási tényezőjét. CADORIN et al. [2001] formuláját alkalmazva a laboratóriumban és a helyszínen mért paraméterekből meghatá-

roztuk a sajátfrekvenciát és a töréshez vezető talajgyorsulás értékét az adott cseppkövek esetén.

Mintát vettünk a Baradla-barlang Olimposz termében lévő 5,1 m magas sztalagmit cseppkőből, majd induktív csatolású plazma tömegspektrometria (ICP-MS) és urán, tórium alfa-spektrometria módszerével meghatároztuk a cseppkő életkorát.

Vizsgálataink eredményeképpen megállapítható, hogy

— Az elmúlt 70 000 évben az 5,1 m magas, Baradla-barlangban található cseppkővet 0,6 m/s²-nél nagyobb horizontális gyorsulás nem terhelhette. A vizsgált cseppkő környezetében lévő tektonikai szerkezetek (Darnó-vonal) földrengés potenciáljának megállapításánál figyelembe kell venni ezeket az eredményeket.

— A Hajnóczy-barlangban végrehajtott mérések során megállapítottuk, hogy környezetében (beleértve az Eger-Ostoros fészket is) nem keletkezett katasztrofális földrengés az elmúlt néhány ezer évben.

Külföldi barlangok (2)

Meggondolásaink és számításaink alátámasztására 2005-ben megvizsgáltunk néhány olyan külföldi barlangot, amelyek hazánknál aktívabb területen vannak. A vizsgált barlangok Spanyolországban és Bulgáriában találhatók.

Spanyolország az Afrikai, Atlanti-óceáni és az Ibériai lemez egymásra hatása miatt aktívnak tekinthető jelenleg is [CLOETINGH et al. 2002]. A pliocén-negyedkori emelkedés elérheti az 1000 métert is (idézett cikk 2. ábrája). A mozgásokat feszültség felhalmozódás kísérheti, amelynek felszabadulása földrengéseket gerjeszthet. Ibéria szeizmicitását jól jellemezhetjük az 1980–1998 között megfigyelt földrengések területi eloszlásával (idézett cikk 4. ábrája).

Az Andalúziában lévő két barlang (Gibraltár és Nerja) cseppköveinek vizsgálata tehát megerősítheti, vagy cáfolhatja eddigi eredményeinket. Abban az esetben, ha találunk olyan sztalagmitokat, amelyeknek — számításaink szerint — már viszonylag kis horizontális gyorsulásokra törniük kellett volna, az eredményeink megkérdőjelezhetők. Ilyen cseppköveket azonban nem találtunk. Természetesen az indikátor cseppkövek hiányának több oka lehet. Gibraltárban található a Szent Mihály-barlang, melyben nincsenek paleorengések indikálására alkalmas cseppkövek. A Neander-völgyi ősember koponyáját megtalálták ebben a barlangban, tehát az már hosszú ideje lakott volt.

Bulgária földrengésekben aktívabb területein két barlangot (Ahmetiova-barlang és Saeva-barlang) látogattunk meg, ahol méréseket is végrehajtottunk (Ahmetiova-barlang). Egyik barlangban sem találtunk megfelelő, paleorengések indikálására alkalmas cseppköveket.

Az Ahmetiova-barlang 30 km-re van egy 10 fokos intenzitású (MSK-64) epicentrális területtől. Nagyon meglepő lett volna tehát, ha ebben a barlangban olyan „karcsú”, ép sztalagmitokat találtunk volna, melyeknél $K \geq 20$ (K = magasság / átmérő arány). Hiszen ekkora intenzitásnál megfigyelt földrengések által gerjesztett horizontális gyorsulások hatására ezeknek a karcsú cseppköveknek már törniük kellett volna. Ilyen cseppkövek nem voltak a barlangban.

Nem találtunk földrengés indikátorként szolgáló cseppköveket a Saeva- és a Ledenika-barlangokban sem, annak

ellenére, hogy ezek a barlangok nem különösebben aktív területen találhatók.

A Ledenika-barlangtól nem messze, Vraca város közelében található Varteskata V13 barlangban sikerült karcsú cseppkövekre bukkanunk. Ez a barlang nem kiépített, csak speciális felszereléssel lehet egy 10–15 méteres kürtön keresztül megközelíteni. A bolgár geológus kollégák segítségével sikerült lejutni a barlangba, ahol a paleorengések indikálására alkalmasnak látszó, $K \geq 20$ sztalagmitokat találtunk.

A cseppkövek gerjesztés hatására mutatott gyorsulásának időbeli változásait (akceleroqram) regisztráltuk SMACH gyorsulásmérő szenzorokkal a cseppköveken három különböző helyen. A felvételeket SMACH SM2 típusú adatgyűjtővel rögzítettük. A mérésekből a cseppkövek rezonancia frekvenciáját meghatároztuk. A vastagabb, 3,65 m magas cseppkőből két különböző helyen mintákat vettünk, hogy korát és növekedési sebességét meghatározhassuk. A cseppkőminták a kormeghatározások alapján recens korúnak tekinthetők. A mért cseppkövek környezetében talált törött darabok laboratóriumban elvégzett törőszilárdsági vizsgálatai alapján a cseppkövek csak igen nagy, 0,9 g gyorsulásra történnek el, azaz sajnos ezek a karcsú cseppkövek sem voltak használhatók a paleorengések indikátoraiként.

Vraca város közelében, ahol a Varteskata (V13) barlang található, van egy horizontális elmozdulásokat jelző tektonikai szerkezet. E törés jelenkori aktivitását kis rengések jelzik. Nem ismerjük arra a kérdésre a feleletet, hogy képes-e ez a szerkezet nagyobb, katasztrófális rengések gerjesztésére, és a cseppkővizsgálatok alapján is csak azt mondhatjuk, hogy ez a tektonikailag aktívnek tekinthető szerkezet az elmúlt néhány ezer évben nem okozott 10°-os MSK intenzitásnál nagyobb rengést.

A földrengésekre vonatkozó ismeretanyag rendszerezése és számítógépes adatbázisának elkészítése (3)

A munka célja Magyarország történelmi földrengéseiről való ismereteink rendszerezése és MS Access adatbázisba rendezése. A korábbi események nagy részéről csak kevés, míg kisebb részükről — főként a későbbi és nagyobb rengésekről — sok és részletes információ áll rendelkezésünkre. A XX. század elején a műszeres regisztrálás kezdetétől, majd a digitális műszerek elterjedése után az információk mennyisége ugrásszerűen megnőtt. A létrehozott adatbázisnak ésszerűen kezelni kell a rengésekről való ismereteink heterogenitását.

Az adatbázist Windows 98/NT/XP operációs rendszer alatt futó Microsoft Access adatbázis-kezelő program segítségével építettük fel.

Az adatbázis fő táblázata a MAINCAT, amelyben egy földrengést egy rekord ír le. Ez a táblázat tartalmazza a rengés fő paramétereit, így a kipattanás idejét és a hipocentrum paramétereit. Mivel időnként a műszeres és a makroszeizmikus epicentrum- és mélységmeghatározások között ellentmondások vannak, ezért ahol ez fordult elő, ott mindkettőt megadjuk. Ezenkívül a rekord tartalmazza a magnitúdó és intenzitás értékeket, a rengés környezeti hatásait, a rengés forrásának típusát és egy rövid leírást a rengésről.

A megvalósított adatbázis nyolc, egymással relációs kapcsolatban álló táblázatból áll. Ezek a MAINCAT, PICTURES, ISOSEIS, TRACES, DESCRIPT, FOCMEC, MAIN_SO és a REFERS nevű táblázatok.

Az ISOSEIS táblázat az izoszeizta-térképek grafikus képeit, forrásukat tartalmazza, valamint néhány megjegyzést róluk. A PICTURES táblázat a földrengés hatásairól és az okozott károkról készült grafikus képeket, fényképeket, a képekre vonatkozó megjegyzéseket, valamint forrásukat tartalmazza. A TRACES táblázat az adatbázisban található földrengések regisztrátumainak katalógusa. A DESCRIPT táblázat az elő- és utórengéseknek, a környezeti hatásoknak, a rengés geológiai hátterének a hosszabb kifejtését, leírását tartalmazza. A földrengés fészekmechanizmus megoldását — ha van — a FOCMEC táblázat tartalmazza. A REFERS táblázat a földrengésre vonatkozó forrásmunkákat tartalmazza, melyek lehetnek könyvek, cikkek, jelentések stb.

Az adatbázis megnyitásakor először a főtábla (MAINCAT) űrlapja (1. ábra) jelenik meg. A rengés fő paramétereinek begépelése után a megfelelő parancsgombok megnyomásával lehet belépni a kapcsolódó táblák űrlapjaiba. A főtáblából csak az adott földrengésre vonatkozó egyéb űrlapok érhetők el.

1. ábra. Az MS Access adatbázis főtáblájának űrlapja

Fig. 1. The form of the main table in MS Access database

Az adatbázis feltöltése földrengés adatokkal folyamatosan történik. Jelenleg 456-tól 2003-ig tartalmaz az adat-

bázis makroszeizmikus rengéseket, összesen 261 db eseményt. Az adatbázisban tárolt események úgy kerültek kiválasztásra, hogy reprezentálják a hazai földrengés-fészkeket, azaz egy azonos fészekben keletkezett rengések közül csak egyet, a legjelentősebbet tároltuk az adatbázisban. A rengésekhez azok paraméterein túl a rengések által okozott károkról készült fényképeket, izoszeizta térképeket és néhány műszeres regisztrátum scannelt ábráját is feltöltöttük.

HIVATKOZÁSOK

- CADORIN J. F., JONGMANS D., PLUMIER A., CAMELBEECK T., DELABY S., QUINIF Y. 2001: Modelling of speleothems failure in the Hotton cave, Belgium). Is the failure earthquake induced? *Netherlands Journal of Geosciences* **80**, 3–4, 315–321
- CLOETHING S., BUROV E., BEEKMAN F., ANDEWEG B., ANDRIESEN P. A. M., GARCAI-CASTELLANOS D., DE VICENTE G., VEGAS R. 2002: Lithospheric folding in Liberia. *Tectonics* **21**, 5
- FRANYÓ F. (Szerk.) 1992: A negyedidőszaki képződmények vastagsága Magyarországon. M=1: 500 000. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest
- GRIBOVSZKI K. 2005: Földrengések geofizikai és geológiai környezetének, valamint Debrecen földrengés-veszélyeztetettségének vizsgálata térinformatikai eszközökkel. PhD értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola, Geokörnyezettudományi Program, 130 o.
- GRIBOVSZKI K., SZEIDOVITZ Gy. 2000: Potenciális földrengés-fészkek meghatározása térinformációs rendszer felhasználásával. *Geomatikai Közlemények* **III**, 255–264
- GRIBOVSZKI K., SZEIDOVITZ Gy. 2004: A földrengések kiváltó tényezőinek vizsgálata térinformatikai rendszer felhasználásával. Magyarország Földrengésbiztonsága mérnökszeizmológiai konferencia, Széchenyi I. Egyetem, Győr, 347–362. o.
- GRIBOVSZKI K., SZEIDOVITZ Gy. 2005: Földrengések geokörnyezetének tanulmányozása térinformatikai eszközökkel. *Geomatikai Közlemények* **VIII**, 315–326
- GRIBOVSZKI K., SZEIDOVITZ Gy. 2006: Investigation of earthquakes' geo-surroundings in the Pannonian Basin by using GIS tools. *Acta Geod. Geoph. Hung.* **41**, 3–4, p. 441–460
- HORVÁTH F. 1993: Towards a mechanical model for the formation of the Pannonian basin. *Tectonophysics* **226**, 333–357
- JÁMBOR Á., SZEIDOVITZ Gy. 1995: Új atomerőmű telepítésére kijelölt területek földrengéskockázatának előzetes vizsgálata. MTA GGKI Szeizmológiai Főosztály Archívuma, Budapest, 31 o.
- JÁMBOR Á., MÓNUS P., SZEIDOVITZ Gy. (Szerk.) 1999: Kinematikai és Földrengés Epicentrumok térképe. ERŐTERV Adattár, Budapest
- KÁZMÉR M., MIKES T., SZÜCS Z., KROLOPP E., SÜMEGI P. 2000: Faulting and liquefaction of Quaternary sediments (Jenő, Fejér county, Hungary). *ESG Memoir I. on Neotectonics*
- KISZELY M. 2001: Discrimination of Quarry-blasts from Earthquakes using Spectral analysis and Coda Waves in Hungary. *Acta Geod. Geoph. Hung.* **36**, 4, 439–448
- LEÉL-ÖSSY SZ., CZIFRA T. 2004: Évi részjelentés a BAF C.4.4., D.9.1/2004 alvállalkozói szerződés tárgyában
- MAGYARI Á. 2002: Hazai krioturbációs jelenségek kritikai újrvizsgálata: paleoszeizmikus tevékenységek nyomai hazai negyedidőszaki képződményekben: MÁFI, Alaputatási Főosztály, kutatási jelentés, kézirat, 9 o.
- MAGYARI Á., VAN VLIET-LANOE B., CSONTOS L. 2002: Paleoszeizmikus jelenségek hazai negyedidőszaki rétegekben. Magyarország Földrengésbiztonsága, tudományos konferencia, Győr, Széchenyi István Egyetem, 2002. november 5.
- MAGYARI Á., MUSITZ B., CSONTOS L., VAN VLIET-LANOE B. 2004: Neotektonikai vizsgálatok a Külső-Somogyi dombságban: Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése, 2002, Budapest, 111–128. o.
- MAROSI S., MESKÓ A. (Szerk.) 1997: A Paksi Atomerőmű földrengés-biztonsága. Akadémiai Kiadó, Budapest, 178 o.
- PÉCSI M. (Szerk.) (1989): Magyarország Nemzeti Atlasza. Kartográfiai Vállalat, Budapest, 395 o.
- PÉCSI M. (Szerk.), a munkaközösség tagjai: ÁDÁM L., BORSY Z., M. BUCZKÓ E., GAZDAG L., GÓCZÁN L., HAHN GY., KAISER M., LÁNG S., LEÉL-ÖSSY SZ., LOVÁSZ GY., MAROSI S., PÉCSI M., PINCZÉS Z., RÉTVÁRI L., SOMOGYI S., SZÉKELY A., SZILÁRD J. 2000: Magyarország Geomorfológiai Térképe. MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest
- SCHWEITZER F. (Szerk.) 1993: Pleisztocénban aktív törésvonalak és süllyedéktületek térképe. MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest
- SZEIDOVITZ GY., VARGA P. 1997: A Paksi Atomerőmű telephelyének földrengésbiztonsága, kárpát-medencei nagyobb rengések áttekintésével. In: MAROSI S., MESKÓ A. (Szerk.): A Paksi Atomerőmű földrengés-biztonsága. Akadémiai Kiadó, Budapest, 95–111. o.
- SZEIDOVITZ GY., BUS Z., GRIBOVSZKI K. 2004: Focal depths of earthquakes in the Carpathian Basin. *Acta Geod. Geoph. Hung.* **39**, 4, 447–470
- SZEIDOVITZ GY., LEÉL-ÖSSY SZ., SURÁNYI G. 2004: Egykori földrengések felismerése cseppkövek segítségével. *Földrajzi Közlemények* **CXXXVIII (LII)**, 1–4, 140–146
- SZEIDOVITZ GY., LEÉL-ÖSSY SZ., SURÁNYI G., CZIFRA T., GRIBOVSZKI K. 2005: Paleorengések által gerjesztett maximális horizontális gyorsulásamplitúdók számítása cseppkövek törésszilárdságának ismeretében. *Magyar Geofizika* **46**, 3, 91–101
- TÓTH L., MÓNUS P., ZSÍROS T., KISZELY M., CZIFRA T. 1996–2003: Magyarországi Földrengések Évkönyve, Hungarian Earthquake Bulletin, 1996–2004. MTA GGKI és Georisk Kft., Budapest

Megnövelt térbeli mintavételezésű szeizmikus reflexiós mérések feldolgozása

ÁDÁM OSZKÁR, SCHOLTZ PÉTER¹, NYÁRI ZSUZSANNA¹, GÖMBÖCZ LAJOS¹

OTKA nyilvántartási szám: T 042552 (2003–2005)

A kutatási projektben továbbfejlesztettünk egy konvolúciós hatásokat eltávolító módszert, mely geofonon és vibrátoron mérhető jelek amplitúdó- és fázisviszonyait teszi vizsgálhatóvá. Kísérleti szeizmikus reflexiós méréseket és felszíni terítéssel kombinált fúrólukbeli adatgyűjtést hajtottunk végre, mely összehasonlíthatóvá tette a felszíni terítés jeleit a mélyben elhelyezett érzékelők, illetve a rezgéskeltő vibrátoron elhelyezett gyorsulásmérők jeleivel. A kutatás eredményeképpen a vibrátoros forrás jelgerjesztéséről kaptunk adatokat, különös tekintettel a felharmonikus tartalomra, illetve arra, hogy a vibrátoron mérhető gyorsulási adatok mennyiben reprezentálják a tényleges kimenő jelet, összevetve a felszínen és a fúrólukban mért jelekkel. A megfigyelések eredményeképpen olyan eljárást dolgoztunk ki, amely a felszíni érzékelők csatornáiból nyerhető adatokat hasznosítja a forrás jelének meghatározására és így a hagyományos korrelációs technikát felválthatja egy nagyobb időbeli és térbeli felbontóképességet nyújtó mérési, feldolgozási módszer.

A térben helyesen mintavételezett szeizmikus hullámok egyik zajkomponensének eltávolítására sebesség diszperziót is figyelembe venni képes zavarhullám szűrő eljárást fejlesztettünk ki és teszteltünk.

O. ÁDÁM, P. SCHOLTZ, ZS. NYÁRI, L. GÖMBÖCZ: Processing of reflection seismic measurements with increased spatial sampling

During 2003–2005 in the project supported by OTKA (T 042552) we have developed a method, which is capable to remove the convolutionary effects to analyse the amplitude and phase relations of harmonic components in geophone and vibratory signals. Experimental seismic reflection data acquisitions and VSP measurement in combination with surface geophone layout were carried out. It was possible to compare the signals of the surface geophones, the downhole receivers and the accelerometers mounted on the vibrators. As a result of the research, information was gained on the seismic signals emitted by the vibrator, especially on their harmonic distortion. We have also got data on the quality of the true source signal representation by the accelerometer signals (mounted on the vibrators). Based on the observations a new source signal estimation technique was developed, where the surface geophone data are utilized, too. This new acquisition and processing method can replace the common correlation process to enhance temporal and spatial resolution.

A surface wave filtration method have been developed and tested to reduce the noise in the properly sampled wave field, which can take into account velocity dispersion, too.

I. Célkitűzések

A közös mélységpontos reflexiós szeizmikus mérési módszer technikai eszközeinek fejlettségi szintje — a mérőműszerek csatornaszámának nagyságrendi növekedésével — a csoportosítás elhagyásával érzékelő oldalon már lehetővé teszi a térbeli mintavételezés helyes megválasztását. Mivel a forrásoldali csoportosítás felszíni vibrátoros jelgerjesztés esetén általában nem küszöbölhető ki, így elsősorban a jelszétválasztáshoz is szükséges forrás jelalak megismerését céloztuk, mert a jelenleg használt módszerek nem adnak megfelelő adatokat a torzított hullámforrás felharmonikus tartalmára. További lehetőség a zavarhullámok tökéletesebb csillapítása pontforrás és egyedi érzékelők jelein, így kutatásainkban új mérési módszerek és adatfeldolgozási lehetőségek kidolgozását kívántuk megvalósítani.

Ennek eléréséhez egy korábbi, a konvolúciós hatásokat eltávolító módszer kiterjesztését céloztuk, mely geofonokon és vibrátoron mérhető jelek amplitúdó- és fázisviszonyait teszi vizsgálhatóvá, melyek tisztán a forrásra jellemzők. Kísérleti szeizmikus reflexiós és lyukbeli mérést

terveztünk és végeztünk el több területen, mely egyedi érzékelőkkel való adatrögzítést igényelt, referencia geofon-csoport mellett. A mérések összehasonlíthatóvá tették a felszíni terítés jeleit a mélyben elhelyezett érzékelők, illetve a vibrátoron elhelyezett gyorsulásmérők jeleivel. A kutatás eredményeképpen azt vártuk, hogy a vibrátoros forrás jelgerjesztéséről kapunk adatokat, különös tekintettel a felharmonikus tartalomra. A vizsgálatok eredményei alapján további cél volt a valódi földterő közelítő meghatározására egy olyan új módszer alapjainak lerakása, mely a felharmonikus tartalom szempontjából is megfelelően működik, és alkalmas lehet determinisztikus dekonvolúciós eljárásban való hasznosításra, a korrelációs technika felváltására.

A zavarhullámok tanulmányozása alapján szűrésükre eljárások kidolgozását terveztük, hogy egy sebesség diszperziót is figyelembe venni képes zavarhullám szűrő módszerhez jussunk.

Eredményeink a Föld belső felépítésének megismeréséhez nyújthatnak nagyobb térbeli és időbeli felbontóképességű eszközöket, amelyeket mind a tudományos közösség, mind pedig a nyersanyagkutatók alkalmazhatnak a földtani szerkezetek pontosabb leképezéséhez.

¹ Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet,
H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.

II. Előzmények

A szeizmikus kutatások általánosan használt módszere a közös mélységpontos reflexiós mérési eljárás, amelytől mind kifinomultabb eredményeket várnak a pontosabb földtani információk megszerzéséhez. Egy előrelépési terület lehet a szeizmikus hullámtér teljesebb leképezése.

A szeizmikus hullámok kellő sűrűségű időbeli mintavételezhetősége megoldott, viszont a térbeli mintavételezhetőség nem tökéletes, hiszen a rutinszerűen végzett szeizmikus reflexiós méréseknél az egyidejűleg jelet szolgáltató érzékelőket csoportokba szervezve, jelüket sorba, illetve párhuzamosan kötve, az információ egy része elvész, a felbontóképesség csökken. A csoportosítás elhagyásával legalább egy nagyságrenddel nagyobb számú csatorna egyidejű rögzítése szükséges, amit a jelenlegi technikai szint már elérhetővé tesz.

A vibrátoros mérések esetén a termelékenységi fokozása, a kellő nagyságú energia bevitele, a felszíni zavarhullámok és egyéb környezeti zajok szűrése céljából forrásoldali csoportosítást is alkalmaznak. A csoportosítás ezen az oldalon sem ideális a felbontóképesség gyengülése miatt, elhagyása viszont termelékenységi okokból nem indokolt.

Az egyedi, vagyis pontszerű források pontszerű érzékelőkön mérhető jeleinek ismerete számos előnyt hordoz. A csoporton belüli perturbációk, mint a statikus, dinamikus időeltérések és csatolási különbségek, kiküszöbölhetők. A csoportok jele nem mentes alias hatásoktól, illetve az egyszerű jelösszegzés a zavarhullámok kiszűrésére nem eredményez optimális szűrőt. Utólagos feldolgozási lépésekben jobb hatásfokú zavarhullámszűrő tervezhető.

Csoportosított rezgéskeltés esetén a pontforrás jelének visszaállítására szóba jöhetnek a kibocsátott jelek kódolásával és valamilyen becslésével működő eljárások, ahol lényeges szerepet kapnak a vibrátorok által ténylegesen kibocsátott jelek, illetve meghatározásuk módszerei. Ekkor azzal az előnnyel is számolhatunk, hogy a vibrátor által kibocsátott tényleges jelet figyelembe véve akár a harmonikus torzítás hatására eddig zajként viselkedő beérkezések is hasznosulhatnak.

A rezgéskeltés elméleti modellezése során általában csak lineáris hatásokat vesznek figyelembe. A megfigyeléseket viszont csak a nemlineáris hatásokat is leíró eljárás képes visszaadni, hiszen a vibrátor szervó-hidraulikus vezérlésében, illetve a talaj-vibrátor rezgőrendszerben lévő nemlineáris átvitel miatt a tényleges kimenő jel torzított és felharmonikus jelekkel terhelt.

III. Elvégzett vizsgálatok, fejlesztések, kísérleti mérések

A szakirodalom áttekintése, módszeradaptálás

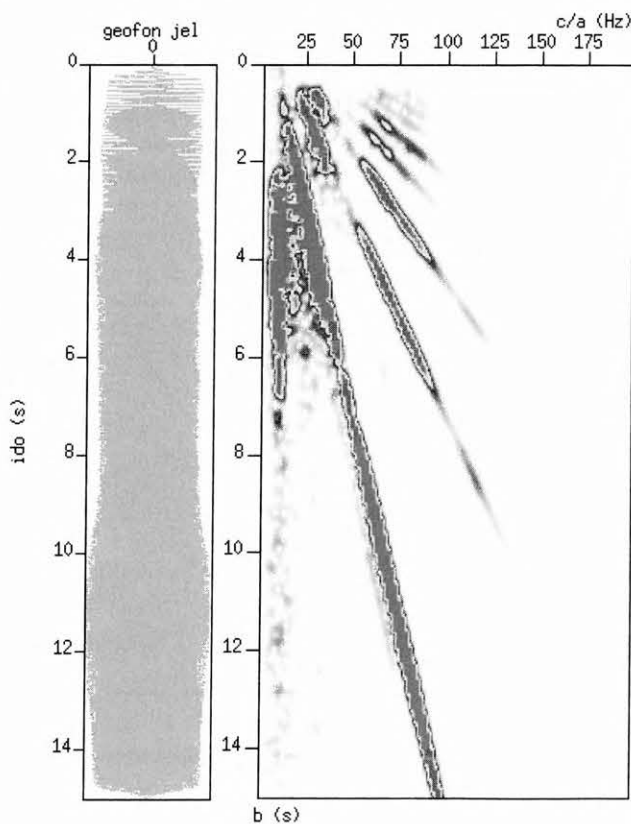
Munkánk során áttekintettük a hagyományos mérésekben használt érzékelő- és forrásoldali csoportosítás hatásait és az egyedi források egyedi érzékelőkkel való észlelésének előnyeit. Bemutattuk a csoportosított források szétválasztására a szakirodalomban javasolt néhány módszer elméleti alapjait. Egy korábbi mérés terepi adatain demonstráltuk a HFVS (High Fidelity Vibratory Seismic) módszerrel történő forrásjel-szétválasztás eredményét, összevetve a szeparáció nélküli, hagyományos technikával.

Tárgyaltuk a változó frekvenciájú jelek vizsgálatához használt módszerek fejlődését, melyekben az elemihullám transzformáció (Wavelet Transformation) teremti meg több megközelítés egyesített leírását. Szintetikus adatok segítségével bemutattuk az elemihullám transzformáció működését az általánosan használt Morlet-féle elemihullámmal.

Elemihullám transzformációs analízáló módszer kidolgozása

A szakirodalomban többek által javasolt, de csak elméletileg tárgyalt speciális elemihullám felhasználására módszert dolgoztunk ki és megvizsgáltuk alkalmazhatóságát. A speciális elemihullám egy lineárisan változó pillanatnyi frekvenciájú jel által modulált Gauss-típusú függvény, mely különösen alkalmas a változó frekvenciájú vibrojelek analízálására (1. ábra). Segítségével közvetlenül kapunk információt a frekvenciaváltozás sebességéről is, amit szintetikus példákra is igazoltunk.

Kidolgoztunk egy, az elemihullám transzformáción és frekvenciatarománybeli osztáson alapuló, feldolgozási eljárást, amellyel eltávolíthatók a szeizmikus jeleket terjedésük és mérésük során érő ismeretlen konvolúciós hatások és így a forrásra jellemző tényleges amplitúdó- és fázisviszonyok tanulmányozhatóvá válnak.

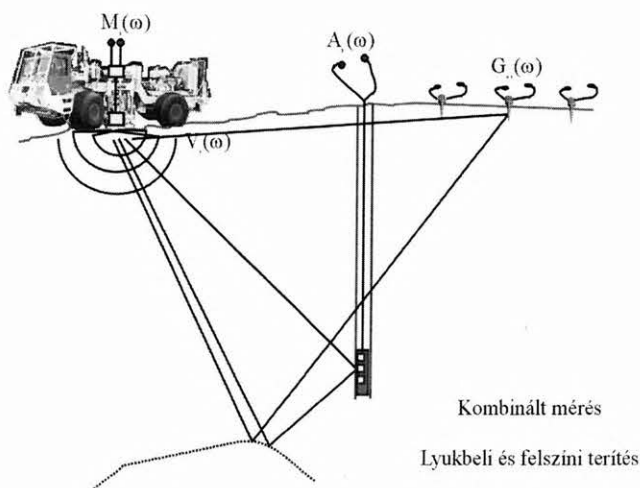


1. ábra. Egy vibrátorhoz közeli geofon korrelálatlan jele (balra) és elemihullám transzformációja által nyert amplitúdó kép az idő-frekvencia síkon (jobbra)

Fig. 1. Geophone signal without correlation close to the vibrator source (left) and its wavelet transform based time-frequency amplitude picture (right)

Kidolgozásra került a jövőbeni reflexiós mérésekhez közelítő kísérleti elrendezés, ahol a felszínen elhelyezett geofonokon észlelhető direkthullám beérkezések nyújtanak segítséget a vibrátor által ténylegesen kibocsátott jel analíziséhez. Több helyszínen kísérleti reflexiós szeizmikus mérést hajtottunk végre és a mérés adatait vizsgálva ellenőriztük, hogy az analízáló módszer valóban kiszűri-e a konvolúciós hatásokat. Meghatároztuk a vibrátoros forrásra jellemző, annak tényleges kimenő jelében a harmonikus torzítás által létrejött felharmonikus hullámok amplitúdó- és fázisviszonyait az alapharmonikus jelhez képest. Összevetettük a geofonok jelén számított arányokat a vibrátoron mérhető gyorsulási adatok és a számított földelő jel arányaival, majd vizsgáltuk, hogy a számított földelő jel, illetve a korábban visszacsatolási jelként is használt gyorsulási adatok harmonikus komponensei milyen amplitúdó- és fázisviszonyokkal rendelkeznek. A harmonikus komponensek összevetése a számított földelő-közelítés jóságáról nyújtott információkat.

Fúrólukbéli érzékelőkön és felszíni terítésen egyidejű mérést végeztünk vibrátoros rezgéskeltés mellett (2. ábra). A GES Kft.-vel együttműködve előkészített kísérleti VSP mérés során egy szeizmikus mérőberendezés rögzítette a felszíni terítésnek és a lyukbéli érzékelőknek a jeleit. A költségek csökkentése miatt az ipari méréssel kombinált mérés a hullámforrás ismeretéhez szolgáltatott adatokat és összehasonlíthatóvá tette a felszíni terítés jeleit a mélyben elhelyezett érzékelőkével. A kísérleti lyukbéli mérés adatainak feldolgozása lehetővé tette a forrásra jellemző amplitúdó és fázisviszonyok meghatározását mind a felszíni, mind pedig a mélybéli érzékelők első beérkezése alapján.



2. ábra. Kísérleti lyukbéli mérés felszíni terítéssel kombinálva

Fig. 2. Experimental downhole measurement combined with surface geophone layout

A tényleges forrásjel meghatározásának módszere

Mivel a geofonok jeleiből csak relatív amplitúdó- és fázisviszonyokat sikerülhetett meghatározni, javaslatot tettünk két módszerre, mely kombináció útján nyeri a valódi földelő jelet. Egy egyszerűbb eljárásban a vibrátoron mér-

hető gyorsulási adatokból számított földelő alapharmonikus komponensének érvényességét feltételeztük és egy korrelációt, majd annak inverzét tartalmazó technikát alkalmazva elkülönítettük. Egy hasonló eljárás után a geofonok jeleiből kapott felharmonikusokat dekonvoláltuk az alapharmonikus komponenssel. A két adatrendszert kombinálva egy olyan földelő jel állt elő, mely felharmonikus tartalmában a tényleges viszonyokat tükrözi, az alapharmonikusa pedig, a jó közelítést nyújtó, számított földelő jelből származik. A másik eljárás a felharmonikus komponensek nagyobb frekvenciáit is hasznosítja, a páros sorozatú komponensek érvényességét is feltételezve.

A forrásjel-meghatározási módszer működésének igazolása mérési adatokon

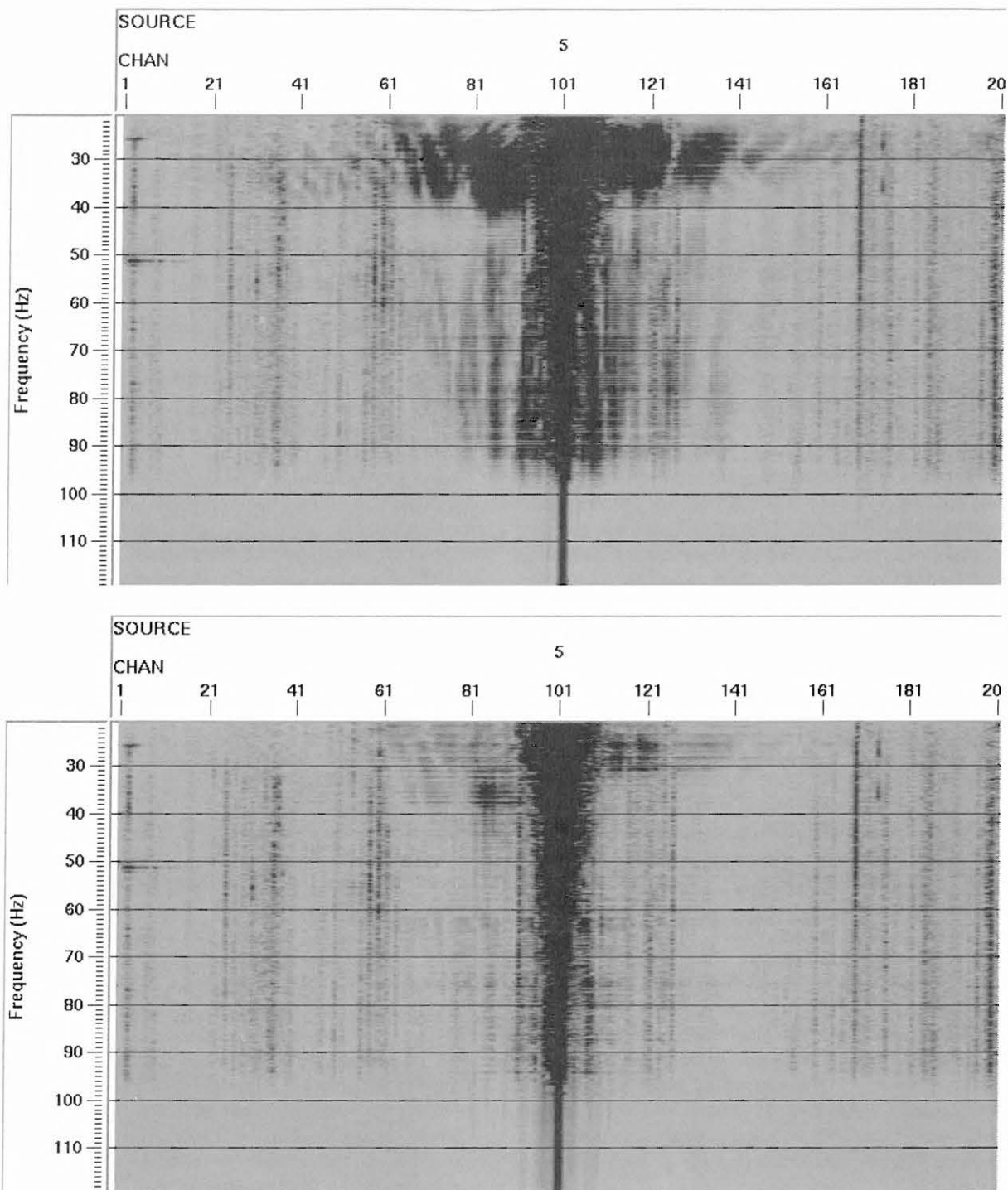
A kísérleti mérések adatain elvégeztük a földelő jel kombinált meghatározását az egyszerűbb eljárással. Az így nyert adatokat összehasonlítottuk az eddig elfogadott, a vibrátoron mérhető jelekből számított földelő jel, illetve a geofonok jeleivel kombinált és meghatározott forrásjel amplitúdó- és fázisviszonyaival. Egyedi felvételek korrelációs (elméleti vibrojel) és determinisztikus dekonvolúciós (hagyományos és az új földelő jel) előfeldolgozásával vizsgáltuk a felharmonikus komponensek okozta zaj megjelenését és így a forrásjel-szétválasztáson alapuló mérések kivitelezhetőségét. Az új eljárás a harmonikus torzítás által okozott zaj jelentős csökkentését teszi lehetővé (3. ábra).

Zavarhullámszűrő kidolgozása

Az érzékelő oldali és a forrásoldali csoportosítás elhagyása, illetve a forrásjel szétválasztása esetén már térben is megfelelően mintavételezett szeizmikus hullámtér egyik lényeges zajkomponensének szűrésére eljárást dolgoztunk ki. A zavarhullámok gyengítésére alkalmas módszerek lehetnek a frekvencia-hullámszám szűrés (FK szűrés), hullámszám szűrés (K szűrés), a diszperziót figyelembevevő sebesség szűrés mellett egyéb sebességszűrések. Bár ezek a módszerek jelenleg is használatosak, az aliasing hatás miatt alkalmazhatóságuk elméletileg is korlátozott. Olyan sebességszűrő eljárást valósítottunk meg, ami akár két egymáshoz közeli csatornán is működik, valamint alkalmas az esetleges frekvenciafüggő sebességváltozások követésére (diszperzió). Az algoritmus alapelve az, hogy két (vagy n) szomszédos csatornán feltételezünk egy végtelen látszólagos sebességű beérkezést (pl. reflexió), illetve egy bizonyos $v(f)$ sebességfüggéssel jellemezhető zavarhullámot. A módszer hatékonyságát szintetikus példákon teszteltük.

IV. Eredmények

1. Eljárást dolgoztunk ki MORLET ötlete nyomán egy speciális elemihullám — a lineárisan változó pillanatnyi frekvenciájú jellel modulált Gauss-típusú függvény — felhasználásával végezhető elemihullám transzformációra, vibrátorjelek és diszperz beérkezések analízisére. Algoritmust és programot fejlesztettünk ki a módszer alkalmazásához, mely idő, frekvencia és frekvenciaváltozási sebesség szerint 3-D teret eredményez. Az eljárás felhasználhatóságát szintetikus adatokon vizsgáltuk.



3. ábra. Amplitúdó spektrum a negatív időtartományban a determinisztikus dekonvolúció végrehajtása után. A vibrátoron mérhető földre, mint vibrojel (fent) és a geofonok jelei felhasználásával meghatározott forrásjel felhasználásával (lent), ami kevesebb harmonikus zajt eredményez

Fig. 3. Amplitude spectrum of the negative time domain after deterministic deconvolution using vibrator mounted sensor based (above) and geophone signal based (down) source signal, which produces less harmonic noise

a) Megállapítottuk, hogy a módszer ott hatásos, ahol az analízis jel lokálisan közelíthető a lineárisan változó pillanatnyi frekvenciájú jellel. A Morlet-típusú alapjellel összevetve ekkor jobb felbontóképességet értünk el és az eredmény zajhatásokra érzéketlenebbé vált.

b) Az általunk kidolgozott analízis módszer közvetlenül ad információt a vizsgált jel frekvenciaváltozási sebességére, mely független paraméterként kerül megha-

tározásra a 3-D tér maximális amplitúdójú pontjainak kijelölésével.

2. Kidolgoztunk egy feldolgozási eljárást, mely a szeizmikus jelek különböző frekvenciaváltozási sebességgel és beérkezési idővel rendelkező harmonikus komponenseit szétválaszthatóvá teszi és kiszűri a szeizmikus hullámok harmonikus komponenseit terjedésük és mérésük során érő ismeretlen konvolúciós hatásokat. A harmonikus

- komponensek különválasztására az elemihullám transzformációt használtuk, ahol szerepet kaphat az 1. pontban bemutatott eljárás. A szétválasztott harmonikus komponenseket frekvenciatartományban egymással osztva kiesnek a komponenseket érő ismeretlen szűrőhatások és a módszer eredményeképpen a forrás harmonikus komponenseire jellemző relatív amplitúdó- és fázisviszonyok határozhatók meg. Az eljárás megvalósítására algoritmust és programot fejlesztettünk ki.
3. Terepi észlelési rendszert terveztünk, mely a jövőbeni reflexiós mérésekhez közelít. Az észlelési rendszerrel elvégzett kísérleti mérés adatai alapján megállapítottuk, hogy a felszínen elhelyezett geofonokon mérhető direkthullám beérkezések alkalmasak a vibrátor által ténylegesen kibocsátott jel vizsgálatához, amit a 2. pontban ismertetett eljárással végeztünk el.
- a) A kísérleti mérés adatain bizonyítottuk, hogy a kifejlesztett és a 2. pontban ismertetett analízáló módszer eltávolította a direkthullámokat érő ismeretlen konvolúciós hatásokat, hiszen a forrásfüggvény relatív amplitúdó- és fázisviszonyait, bár zajjal terhelt, de észlelési távolságtól és érzékelőtől független módon adta meg.
- b) Minden frekvencián a 2. pont módszere által szolgáltatott adatok medián értékeinek meghatározásával többcsatornás zajszűrést végeztünk, és ennek eredményeképpen meghatároztuk a vibrátoros forrásra jellemző, annak tényleges kimenő jelében, a harmonikus torzítás által létrejött felharmonikus hullámok amplitúdó- és fázisviszonyait az alapharmonikus jelhez képest. Az adott kísérletben a negyedik felharmonikusig kaptunk értékelhető eredményt.
4. Összehasonlítottuk és vizsgáltuk a forrásjel relatív amplitúdó- és fázisviszonyait a felszínen elhelyezett geofonok direkthullám beérkezései, a vibrátor gyorsulási adatai, valamint a számított földérő jel alapján, amit a relatív amplitúdó- és fázisviszonyokat leíró frekvenciafüggő görbék korrelációs együtthatóinak számításával támogattunk.
- a) Bebizonyítottuk, hogy az adott kísérleti elrendezésben a 2. pontban ismertetett módszer a direkthullám beérkezéseken kimutathatóvá tette az irodalomból ismert összefüggést, miszerint az alapharmonikus komponens egy ismeretlen amplitúdószorzó és fázistoló konstanstól eltekintve mind a vibrátoron, mind pedig a geofonon mérve hasonló amplitúdó- és fázisviszonyokkal rendelkezik, vagyis az alapharmonikus komponensre nézve a számított földérő felhasználható a távoli jel meghatározásához.
- b) A kísérleti mérés adatain elvégzett analízáló eljárás alapján megállapítottuk, hogy a felharmonikus komponensek közül csak a páros sorszámúak esetében igaz a távoli jel közelítésére a számított földérő felhasználhatósága. A számított földérő páratlan sorszámú felharmonikusai jelentősen eltérő tulajdonságokkal rendelkeznek a geofonjelek alapján meghatározott valódi forrásjelhez képest, vagyis a vibrátoron nem mérhető a tényleges teljes kimenő jel.
- c) Megállapítottuk, hogy csupán a vibrátoron mérhető gyorsulási adatok alapján is következtetni lehet a valódi forrásjel és a számított földérő jel páratlan sorszámú felharmonikus komponenseinek eltérésére, mert ekkor a vibrátor talpának, reaktív tömegének és a számított földérő jelnek relatív amplitúdó- és fázisviszonyai nem egyeznek meg. A páros sorszámú felharmonikus komponensek esetében viszont megegyeznek.
5. Felhasználva a 4. pont megállapításait, két új módszert dolgoztunk ki, melyek kombináció útján a felharmonikus komponenseket is jól közelítő tényleges földérő jel számítását eredményezik.
- a) Algoritmust és programot fejlesztettünk ki egy egyszerűbb eljárásra, ahol csak a vibrátoron mérhető gyorsulási adatokból számított földérő alapharmonikus komponensének érvényességét feltételeztük. Javaslatot tettünk továbbá egy másik módszerre is, ami hasznosítja a felharmonikus komponenseknek az alapharmonikus komponensnél nagyobb frekvenciáit is, a vibrátoron mérhető gyorsulási adatokból számított földérő páros sorszámú felharmonikus komponensei érvényességének feltételezésével. A módszerekben a geofonokon mérhető relatív adatokat kombináltuk a vibrátoron mérhető érvényesnek tekintett jelekkel.
- b) Az egyszerűbb eljárással elvégeztük a kísérleti mérés adatain a földérő jel kombinált meghatározását és megállapítottuk, hogy a 2. pont analízáló eljárása segítségével összehasonlítva a kombináció útján nyert földérő jel, a vibrátor gyorsulási adataiból számított földérő jel, illetve a geofonjelekből meghatározott forrásjel amplitúdó- és fázisviszonyait, a kombináció eredményeképpen a felharmonikus tartalmat jobban leíró földérő közelítéshez jutottunk, amit a korrelációs együttható értékei is bizonyítanak.
- c) A fúrólyukbeli és a felszíni terítés együttes alkalmazásával végzett kísérleti mérés során nyert adatok kiértékelésével megállapíthatóvá vált, hogy a felszín közelében terjedő direkthullámokra érvényes amplitúdó- és fázisviszonyok a lefelé haladó hullámokra is érvényesek. A földérőjel meghatározás tehát a tényleges forrásjelet eredményezi, így a reflexiós beérkezések feldolgozásához alkalmazhatók.
6. A kísérleti mérések nyers, korrelálatlan felvételeit az újszerűen meghatározott forrásjellel való determinisztikus dekonvolúcióval feldolgoztuk és összehasonlítottuk az eredményt a hagyományos korrelációs (elméleti vibrojel) technikával és a korábban elfogadottnak tekintett (a vibrátoron elhelyezett gyorsulásmérők adatai alapján) földérőjellel való dekonvolúcióval. Bebizonyosodott, hogy az újszerű (kombinációs) földérőjel meghatározás eredményeképpen kapott forrásjel kisebb felharmonikus zajmaradványt eredményez, vagyis teljesebb mértékben hasznosulhat jelként a vibrátor által kibocsátott torzított forrásjel.
7. A térben helyesen mintavételezett zavarhullámok szűrésére sebességszűrőt is figyelembe vevő sebességszűrő alkalmazási elvét változtatva többféle érzékenységgű szűrési eljárást fejlesztettünk ki. A módszerek alkalmazhatóságát szintetikus és valós adatokon teszteltük. Bebizonyosodott, hogy gyakorlati szempontból a zavarhullám terjedési sebességváltozásaira kevésbé érzékeny módszer az ígéretesebb. Ezek a vizsgálatok, fejlesztések további munkát igényelnek.

V. Összefoglalás

A kutatási projekt eredményei számos területen használhatók. Az elemihullám transzformáció speciális alaphul-

lámával való elvégzésének módszere felhasználási területét a diszperz beérkezések idő–frekvencia analízise jelentheti, ha az analizált jel lokálisan közelíthető a lineárisan változó pillanatnyi frekvenciájú alapjellel. A lineárisan változó pillanatnyi frekvenciájú vibrátorjeleknél természetes módon teljesül a hasonlóság, így a jobb felbontóképesség és a módszer zavaró hatásokra kevésbé érzékeny volta indokolhatja használatát.

A vibrátorjelek analízisére kidolgozott, az ismeretlen konvolúciós hatásokat kiszűrő, analízáló eljárás minőségellenőrzési feladatokban is szerepet kaphat, amennyiben a hagyományos méréseknél zajként viselkedő tényleges felharmonikus tartalmat képes meghatározni.

A kísérleti mérés — mely a jövőbeni ipari mérésektől csak csekély mértékben tér el — adatai alapján a valódi forrásjel harmonikus komponenseiről megfogalmazott megállapítások több új, a valódi földért jobban közelítő, meghatározási módszer kifejlesztését tették lehetővé. A dolgozat eredményei hozzájárulhatnak a csoportosított vibrátoros mérések jelei szétválasztásának tökéletesítéséhez és a korrelációs technikát felváltó, determinisztikus dekonvolúciót alkalmazó eljárások használatához. A pontszerű érzékelővel rögzített pontforrás valódi kimenőjelét alkalmazó mérés technikák felbontóképességet növelő tulajdonsága nagy termelékenység mellett is elérhetővé válik.

Az eredmények iránt számos intézet, vállalat mutatott érdeklődést. Jelenleg egy több résztvevős nemzetközi pályázatban az EU támogatásával további kutatásokat végzünk.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti az Országos Tudományos Kutatási Alapot, hogy a kutatási témát a „Megnövelt térbeli mintavételezésű szeizmikus reflexiós mérések feldolgozása” című, T 042552 számú pályázat keretében támogatta. Köszönetet

mondunk továbbá a GES Kft.-nek néhány kísérleti mérés elvégzéséért és az adatok rendelkezésünkre való bocsátásáért.

ELŐADÁSOK, PUBLIKÁCIÓK A KUTATÁS IDŐTARTAMA ALATT

- SCHOLTZ P. 2003: Constructing an output signal estimate of a vibratory source. 65th EAGE Conference, Extended Abstracts, P233, Stavanger
- SCHOLTZ P. 2003: A vibrátor tényleges erőhatásának rögzítése által lehetővé tett mérési, feldolgozási módszerek vizsgálata. Nemzetközi Geofizikai–Földtani–Fluidumbányászati–Környezetvédelmi Vándorgyűlés/Konferencia és Kiállítás, Szolnok
- SCHOLTZ P. 2004: Vibrátorjelek analízise megnövelt felbontóképességű reflexiós szeizmikus mérések adatfeldolgozásához. Doktori Értekezés
- SCHOLTZ P. 2004: Validating the basic assumptions in a vibratory source signal estimation method. 66th EAGE Conference, Extended Abstracts, P295, Paris
- SCHOLTZ P. 2004: 7.1.2.1 Szeizmikus módszertani kutatások: Vibrátoros mérések jelfeldolgozása. ELGI Jelentés 2004
- SCHOLTZ P. 2005: Reflexiós szeizmikus mérések hatékonyságának és felbontóképességének növelése. PhD eredmények a magyar geofizikában, MTA tudományos előadói ülés, Budapest
- SCHOLTZ P. 2005: A vibrátor valódi jelének vizsgálata. Geophysical Transactions (közlésre elfogadva)
- SCHOLTZ P. 2005: 7.1.2.1 Szeizmikus módszertani kutatások: Vibrátoros mérések jelfeldolgozása. ELGI Jelentés 2005
- SCHOLTZ P., NYÁRI Zs. 2004: Vibrator source signal estimation by data combination. EAGE Research Workshop on “Advances in Seismic Acquisition Technology”, Rhodes
- SCHOLTZ P., NYÁRI Zs., GÖMBÖCZ L. 2006: Time Series Analysis of Distorted Vibratory Signals. EGU General Assembly 2006, A0286, Vienna



SCHOLTZ Péter



HEILIG Balázs

Földi elektromágnesség

VERŐ JÓZSEF¹ (témavezető), ÁDÁM ANTAL¹, BENCZE PÁL¹, BÓR JÓZSEF¹, KOPPÁN ANDRÁS¹, KOVÁCS KÁROLY¹, LEMPERGER ISTVÁN¹, MARTINI DÁNIEL¹, MÁRCZ FERENC¹, NOVÁK ATTILA¹, PRODÁN TÍMEA¹, SÁTORI GABRIELLA¹, SZALAI SÁNDOR¹, SZARKA LÁSZLÓ¹, WESZTERGOM VIKTOR¹, ZIEGER BERTALAN¹

OTKA nyilvántartási szám: T 408048 (2002–2004)

A „Földi elektromágnesség” című tudományos iskola kutatási területei a Naptól a Föld középpontjáig haladva a következő, egymással összefüggő térbeli régiókra terjedtek ki: Nap, interplanetáris tér, magnetoszféra, ionoszféra, légkör, elektromágneses tér a Földön, elektromágneses térjellemzők eloszlása a földfelszín alatt: a felszínközeli térségben, a kéregben, a köpenyben (ill. a litoszférában, asztenoszférában), földmag. Ezeket a térségeket anyag- és energiaáramlások, valamint az elektromágneses tér jelenségei kapcsolják össze. A vizsgált természeti folyamatok periodicitásának megfelelően hosszú távú kutatásokat terveztünk, szoros nemzetközi együttműködésekben.

J. Verő, A. Ádám, P. Bencze, J. Bór, A. Koppán, K. Kovács, I. Lemperger, D. Martini, F. Márcz, A. Novák, T. Prodán, G. Satori, S. Szalai, L. Szarka, V. Wesztergom, B. Zieger: Geo-electromagnetism

The research project „Earth electromagnetism” covers the following inter-related regions in the space: Sun, interplanetary field, magnetosphere, ionosphere, atmosphere, electromagnetic field on the Earth, distribution of electromagnetic parameters under the ground surface (in near-surface regions, in the crust, in the mantle or with other expressions: in the lithosphere and astenospehere), Earth’s core. All these regions are interconnected, due to various matter and energy flows, among other by electromagnetic field. Following the periodicity of the studied phenomena, we continued a long-term research, based on Earth observatory- and field studies, in close international co-operations.

Bevezetés

A Földi elektromágnesség (Earth electromagnetism) elnevezésű soproni tudományos iskola gyökerei azokra az évekre nyúlnak vissza, amikor a GGKI elődjében elkezdődött a Föld elektromos szerkezetének kutatása és amikor a Nemzetközi Geofizikai Év (1957) alkalmából sikerült létrehozni a nagycenki geofizikai obszervatóriumot (mai neve: MTA Széchenyi István Geofizikai Obszervatórium). Az obszervatórium létrejötte ugyanis megteremtette, folyamatos működése pedig — az ötvenes évek és az azóta eltelt évtizedek minden nehézsége ellenére — megőrizte a földi elektromágneses tér szerteágazó területei között az összehangolt kutatás lehetőségét. Két akadémikus, két tudomány doktora és két, MTA doktori címre pályázó kutató, illetve a mellettük folyamatosan újrateremtődő fiatal kutatók, doktoranduszok eddigi kutatási teljesítményére jellemző, hogy a Web of Science-ban hozzáférhető soproni szerzőségű természettudományi cikkek több mint egyharmadát ez a csapat írta.

Az elektromágneses jelenségek iránt az érdeklődés az elmúlt években jelentősen nőtt. Olyan új tudományterületek alakultak ki, mint az űridőjárás, majd az űrégzhajlat. Az űridőjárás a napszél, illetve az általa kitöltött bolygóközi tér viszonylag gyorsan változó viszonyait véve alapul, vizsgálja ennek földi hatásait. Az érdeklődés ez iránt a terület iránt akkor vált erősebbé, amikor 1989-ben egy geomágneses vihar sok órási áramszünetet okozott az USA északkeleti részén, majd 2003-ban egy kivételes mágneses vihar — az óvintézkedések ellenére — Svédországban

vezetett áramkimaradásra. Az ilyen jellegű vizsgálatoknak egyik feltétele a hosszú és folyamatos adatsorok megléte, ami a nagycenki Geofizikai Obszervatórium esetében biztosítva van, egyes ottani adatsorok (pulzációk, Schumann-rezonancia, légköri elektromosság) a világon is vezető hosszúságúak.

Az űrégzhajlat a geomágneses tér és a Nap sugárzásának hosszú távú változásaival foglalkozik. Ezen a téren a geomágneses polaritás váltásával kapcsolatos rémhírek keltették fel az érdeklődést, emiatt vált az átfordulás alatti helyzet érdekessé. Évtizedes-évszázados skálán a Nap mágnessterének, illetve a napszélből a magnetoszférába jutó energia arányának változása igényel hosszú adatsorokat. Hosszú, évtizedes időskálájú változásokat találtunk a légköri elektromosságban és az ionoszférában is. A bolygóközi tér, az ionoszféra és a geomágnesség kapcsolatára vonatkozóan egy olyan kivételes jelenség, mint a napfogyatkozás, vezetett új felismerésekhez, sőt eltérést találtunk bizonyos geomágneses indukciós hatás esetében is. A villámok révén keletkező elektromágneses hullámok, így a Schumann-rezonanciák és a whistlerek mind a földi időjárás, mind a magnetoszféra szerkezete szempontjából jelentős adatokat nyújtanak.

Az elektromágneses indukciós módszerekkel tanulmányoztuk a Pannon-medence felépítését. Különösen nagy vállalkozás volt a Dunántúl DNy-i részén, a CELEBRATION szeizmikus vonal mentén mintegy 70 pontban végzett MT szondázás. Módszereinket repedezett kőzetek vizsgálatára, valamint régészeti feltárások elősegítésére is felhasználtuk. A helyi adottságok felhasználását jelentette a fákban mért elektromos tér mérése.

¹ MTA GGKI, H-9401 Sopron, Pf. 5

Az eredmények áttekintése

A tudományos iskola eredményeit az *Acta Geodetica et Geophysica*-ban részletesen összefoglaltuk [ÁDÁM et al. 2005], e helyütt az egyes területekről csak egy átfogó áttekintést adunk.

1. Nap–Föld fizika

2002-ben a finnországi Oului Egyetem űrkutató csoportjával együttműködve a Föld körüli térség (a napszél és az interplanetáris mágneses tér, IMF) hosszútávú változásait és a helioszféra aszimmetriáját tanulmányoztuk. Kimutattuk, hogy naptevékenységi minimum idején a Nap déli mágneses féltekéjén szignifikáns 10 km/s/fok látszólagos latitudinális gradiens létezik. A Nap északi mágneses féltekéjén nem találtunk szignifikáns latitudinális gradienst. Így a napszélsébség minimuma, azaz a helioszferikus plazmalepel szisztematikusan a Nap északi mágneses féltekéjére tolódik naptevékenységi minimum idején.

2003–2005-ben ZIEGER Bertalan DFG ösztöndíjas paleomagnetoszférák magnetohidrodinamikai (MHD) modellezését végezte a Brémai Nemzetközi Egyetemen. A modellezéshez a Michigani Egyetem programját használtuk. A cél a napszél, a magnetoszféra és az ionoszféra kölcsönhatásának vizsgálata pólusátfordulások idején, amikor a Föld belső mágneses tere a mai érték 10%-ára csökken, és a virtuális geomágneses pólus alacsony földrajzi szélességekre vándorolt. A modellszámítási lánc végén becslést kaptunk a felsőlégi ózonkoncentráció változására pólusátfordulások idején, ami komoly befolyással lehetett a földi élővilágra.

Kis axiális dipólus, ekvatoriális dipólus, tengelyszimmetrikus kvadrupólus, ill. semleges vonallal rendelkező kvadrupólus paleomagnetoszférák numerikus MHD modellezését végeztük el. Az IMF irányának függvényében vizsgáltuk az erővonalak konfigurációját és a nagyléptékű magnetoszférikus áramrendszereket. Ekvatoriális dipólus paleomagnetoszféra esetén a magnetoszféra drasztikus jellegű napi változását tárgyaltuk. Az MHD program ionoszféramodellező moduljával tanulmányoztuk a magnetoszféra-ionoszféra csatolást axiális dipólus paleomagnetoszférák esetében. Meghatároztuk a transzpoláris ionoszférikus potenciál, ill. az erővonal menti áramok változását a dipólusmomentum, az ionoszférikus Pedersen vezetőképesség és az IMF függvényében.

2. Tudományos-fejlesztési eredmények a nagycenki Széchenyi István Geofizikai Observatóriumban

A geomágneses tér, a Föld plazmakörnyezete és a Nap–Föld energiacsatolás folyamatos megfigyelése több új méréssel egészült ki. Létrejött a South European Ground-based Magnetometer Network (SEGMA) magyar-osztrák–olasz együttműködésben. A nagyfelbontású mérések célja az ULF hullámterjedés (héjrezonancia) vizsgálata. Az elektromágneses zajok eloszlása, valamint a földi és műholdas (CHAMP, DEMETER) mágneses mérések összehasonlítása terén születtek eredmények. Az INTERMAGNET és a SEGMA keretében végzett méréseket támogatja, és a tellurikus mérések folytatását biztosítja az átalakított DR02 és az MRS műszer. Az ELF–VLF (1–20 kHz) vevő 2003 júniusa óta folyamatosan működik. A cél a whistlerek és más tranziensek detektálása, vezetési csatornák vizsgálata és a plazmaszféra elektronsú-

rúségének meghatározása. Az obszervatóriumi mérések formázása nemzetközi együttműködésekhez kapcsolódik.

3. A geomágneses pulzációk kutatása

E téren két kérdéssel foglalkoztunk, mindkettő régebbi együttműködések folytatása

Az 1999-es napfogyatkozás hatásával kapcsolatban a hatás meglétét ugyan kétségbe nem lehet vonni, de az általunk javasolt értelmezés vitát váltott ki. Ez nem is a hatás megléte körül folyik, hanem az upstream hullámok és az erővonal menti rezonancia (FLR) létezése, sajátságai körül. Az eredményeket kiegészítettük a plazmasűrűség és ebből eredően az FLR periódusának várt változására vonatkozó becsléssel, ami jól egyezik a most meghatározott kísérleti eredménnyel.

A CHAMP műholdon és a felszíni SEGMA hálózatban ($1.56 < L < 1.58$) egyidejűleg végzett ULF mérésekből kiválasztott Pc 3 események alapján sikerült az erővonalnak megfelelő héjrezonanciát kimutatni mind a plazmaszférában, mind pedig a felszínen. A kísérlet bizonyította azt a feltevést is, hogy az ionoszféra ULF hullámok polarizációs ellipszisének 90 fokkal elforgatja.

4. Ionoszféra

Mivel a radiokommunikáció fejlődési iránya az adóteljesítmény csökkentése és a frekvencia növelése, korábban a rádióhullámok hullámhosszához viszonyítva elhanyagolható méretű ionoszférikus irregularitások befolyásolják a rádióhullámok terjedését. Az ionoszférában az elektronsűrűség irregularitásoknak két fő típusa alakul ki, szporadikus *E* rétegek és a *spread F* jelenség. Az *Es* rétegeket vékony diffrakciós rácsoknak lehet tekinteni, amelyeknek jellemzője a rácsállandó, vagyis a rácsponatok közötti távolság. Az *foEs* frekvenciaparaméter időbeli változásainak spektrális analízise lehetővé teszi a rétegben fellépő „foltok”, mint rácsponatok közötti közepes időbeli különbség meghatározását. Szél modell alkalmazásával az időbeli különbséget a szélsébséggel szorozva a „foltok” közötti közepes távolság kiszámítható. A *spread F* jelenséget illetően megállapítottuk, hogy a keletkezésükre vonatkozó két feltételezés közül a legtöbb *spread F* előfordulást instabilitás okozza.

5. Légköri elektromos kutatások

Angliai partnerrel együttműködésben végzett kutatásaink szolgáltatották a legjelentősebb eredményeket. A nagycenki, ill. két angol obszervatórium (Eskdalemuir és Kew) több évtizedes adatait elemezve igazoltuk, hogy egymástól távoli állomásokon azonos értelmű változás — csökkenő tendencia — jelenik meg a légköri elektromos paraméterekben. Az adatok megbízhatóságának ellenőrzésére mind Nagycenken, mind az angliai állomásokon feltártuk és bizonyítottuk a potenciálgradiens napi menetében a globális jegyeket. A vertikális áramban, amely leginkább érzékeny a globális változásokra, szintén kimutattuk a csökkenő tendenciát, Kew állomás mérései alapján. Ezáltal a potenciálgradiensben feltárt csökkenés realitása is meg erősíthető. Ballonmérések eredményei alapján feltételezhető, hogy a vizsgált időszakban a felszínen mért paraméterek változása a légköri elektromos globális áramkör egy fontos elemének, az ionoszférikus potenciálnak a csökkenésével függhet össze.

6. Schumann-rezonancia

Magyarázatot adtunk a Kongó- és az Amazonas-medencei zivatar-tevékenységnek a fél éves trópusi hőmérséklet-változásra adott eltérő válaszára. A napfelkelte/naplemente időszakhoz kapcsolódó SR intenzitás-változást a terjedési viszonyok és a Föld-ionoszféra hullámvezető magasságának a megváltozásával magyaráztuk. Az SR-frekvenciák napi menetének évszakos változásából a világ zivatar-tevékenységének óceáni termodinamikai befolyást tükröző, nem egyenletes sebességű észak–déli migrációjára következtettünk. A Schumann-rezonancia frekvenciák napi ingadozásának mértékéből a világ-zivatar-tevékenység területi változásait vezettük le. Mind az éves, mind a fél éves területi változás egy, a 11 éves napciklussal összefüggésbe hozható modulációt mutat. Részt vettünk a Columbia űr-misszióhoz kapcsolódó nemzetközi felszíni ELF kampányban, valamint több EuroSprite kampányban. A felsőlégköri elektro-optikai emisszókat kiváltó hatalmas villámok töltésmomentumait határoztuk meg az SR-tranziensekből.

7. A Pannon-medence és más térségek elektromos mélyszerkezete

Új összefüggések tárultak fel a Dunántúli Vezetőképeség-anomália szerkezetének, anyagi mibenlétének és a Dunántúl szeizmicitásával való kapcsolatáról:

- Statisztikai, valamint matematikailag leírható fizikai kapcsolatokat mutattunk ki a Pannon-medencében mért földmágneses indukciós vektorok (Wiese koncepció) reális komponensei irányajátásai és a medenceszerkezet horizontális vezetőképesége (annak horizontális változása) között;
- Elvégeztük az eddigi legnagyobb volumenű és legrészletesebb (2 km-es állomástávolsággal kivitelezett) szerkezetkutató magnetotellurikus mérést az ország DNY-i határa (a 140 km hosszú CEL-7 mélyszeizmikus szelvény) mentén. Az eredmények a Balaton-vonal és a Közép-magyarországi vonal jellegzetes elektromos vezetőképeség-anomáliái mellett Szentgotthárd és Barcs között több más geoelektromos mélyszerkezeti jellegzetességet is feltártak.

8. Új elektromágneses geofizikai mérési, modellezési és leképezési/inverziós eljárások kidolgozása, a meglévők fejlesztése

Beszereztük a WinGLink programrendszert, és számítógépes programot készítettünk. A CEL-7 menti adatokat együttes inverciónak vetettük alá. Az inverziós eljárásokat (1-D, 2-D E-pol és 2-D H-pol, valamint 2-D bimodális) az impedanciatenzor rotációs invariánsain alapuló leképezésekkel egészítettük ki. A teljes impedanciatenzort oda-vissza transzformáljuk rotációs invariánsok rendszerébe, a teljes információtartalom megőrzése mellett. Paraméter-érzékenységi vizsgálatokat végeztünk és földi adatokon teszteltük a Mars NetLander projektre tervezett geomágneses gradiens módszert. (Az időszak közepén U. Cs. tervezett doktori hallgató meghalt.)

9. Környezetgeofizikai alkalmazások

Kétdimenziós egyenáramú (multielektródás) inverziós programcsomagot vásároltunk. Ennek alkalmazása hozzásegített bennünket a rutinszerű alkalmazásokat meghaladó tudományos eredményekhez.

Korábban kifejlesztett geoelektromos null-elrendezé-

seink mellett olyan null-elrendezéseket terveztünk, amelyek ún. in-line (a szelvény menti előrehaladás vonalában elhelyezett elektródákat használó) méréseket tesznek lehetővé. Ezekkel különféle területeken tesztméréseket végeztünk. A null-elrendezésekről PhD-értekezés készült és került megvédésre.

A magnetotellurikus tenzor rotációs invariáns-leképezési módszerét sikeresen alkalmaztuk egyenáramú térképezésre. A fajlagos ellenállás-tenzorból származtatott invariánsok a felszín alatti szerkezeteket felülnézetből torzulásmentesen mutatják, ellentétben a multielektródás mérések sokszor értelmezhetetlen és összefüggéstelen (bár matematikailag korrekt) anomáliáival.

A fa vízháztartásával kapcsolatos elektromos vizsgálatok adatsorainak további gyűjtése és elemzése lehetővé tette a környezeti paraméterek befolyásának elemzését a nedváraamlásra.

A meglévő fanedváraamlási modellek által indokoltnál jóval bonyolultabb összefüggérendszerrel mutattunk ki, és elkészült egy PhD-értekezés.

10. A Nap, illetve a belőle származó elektromágneses és részecskesugárzás hosszú távú változásai

E téma iránt az elmúlt években nagymértékben nőtt az érdeklődés, és ez a kérdés külön szakterületté vált „space climate”, űrghajlat néven. LOCKWOOD jutott arra a következtetésre, hogy a Nap mágnestere az elmúlt 100 évben mintegy kétszeresére nőtt. Ezt a geomágneses tevékenység hosszú adatsorára alapozták. A leghosszabb, 1868-ig visszamenő adatsor az *aa* index. Finn együttműködésben vizsgáltuk ezt az adatsort. Mások a növekedést kétségbevonták, elsősorban a bolygóközi mágnes tér esetében.

A kritikusok által javasolt IHV indexet az összes lehetséges állomásra meghatároztuk a 20. sz. kezdete óta, és ezek nagyon hasonló növekedést mutattak. A változás mértéke 34%, fele az *aa* index változásának. Új adalék a változás szélességfüggése. Foglalkoztunk a különböző indexek átszámításával is.

A „space climate” kutatások végső soron hozzájárulnak a globális geomágneses tevékenység és a földi éghajlat közötti sokat vitatott kapcsolat elfogadásához vagy elvetéséhez.

Összefoglalás

A szerteágazó, de a soproni MTA GGKI Geofizikai Főosztályának hagyományain alapuló és az IAGA (International Association of Geomagnetism and Aeronomy) kereteibe beleilleszthető eredményeket 78 publikációban (közel 20 SCI-cikkben) tettük közzé.

A fiatalok a doktori képzésben jelentősen előrehaladtak, de a legnagyobb hatású eredménye ennek az összerendezett kutatásnak az volt, hogy — megerősödésünknek köszönhetően — 2005 júliusában Sopron nyerte el az IAGA 11. (2009 augusztusában tartandó) tudományos világkonferenciájának rendezési jogát.

HIVATKOZÁS

ÁDÁM A., BENCZE P., MÁRCZ F., MARTINI D., SÁTORI G., SZARKA L., VERŐ J., WESZTERGOM V., ZIEGER B. 2005: Earth electromagnetism. Acta Geod. Geoph. Hung. **40**, 317–348

Inverziós módszerek a hidrogeológiában

SZÜCS PÉTER (témavezető)¹, TÓTH ANDREA¹, ZÁKÁNYI BALÁZS¹, MADARÁSZ TAMÁS¹

OTKA nyilvántartási szám: T 031741

P. SZÜCS, A. TÓTH, B. ZÁKÁNYI, T. MADARÁSZ: Inverse methods in hydrogeology

The inversion methods should gain more practical applications in the different fields of hydrogeology. Based on the so-called response equations, the parameters of the hydrogeological models are determined during the solution of the inverse problem. Some new inversion algorithms connected to well hydraulics, geohydrology and groundwater flow modeling have been elaborated in the frame of this research project. The suggested new methods enable the quality control of the interpretation based on the measured field data. The Simulated Annealing global optimization method was involved into the development of the inversion methods in hydrogeology. The most frequent value (MFV) geostatistical method developed at the Department of Geophysics of the University of Miskolc seemed to be the most useful during the global optimization.

Bevezetés

A hidrogeológia alkalmazási területein egyre inkább előtérbe kerülnek az inverziós eljárások. A hidrogeológiai inverz probléma megoldása során általában a különböző mérési adatok és a (rendszerint közelítő) válaszgyenletek ismeretében a hidrogeológiai modell paramétereit (petrofizikai, vízföldtani és geometriai jellemzőit) határozzuk meg. A kutatás keretében olyan globális optimalizáción alapuló inverziós algoritmusok kerültek kifejlesztésére a kúthidraulika, a vízgazdálkodás és a hidrodinamikai modellezés területén, amelyek lehetővé teszik mérési anyagaink minőségellenőrzött kiértékelését. A globális optimalizációs módszerek közül a mérnöki alkalmazásokban leginkább elterjedt Simulated Annealing (SA) eljárás alkalmazása és hidrogeológiai adaptálása jött szóba. A normarendszer megválasztásában a Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszékén kidolgozott MFV módszer javasolható [STEINER 1991].

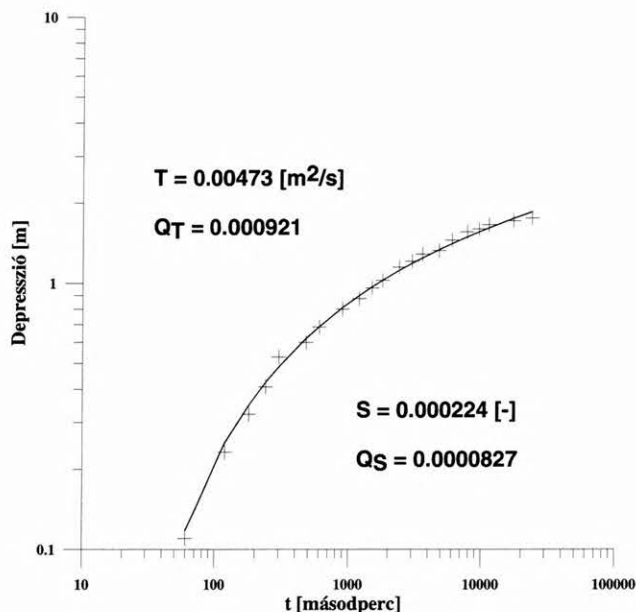
Alkalmazás szintetikus és terepi problémákban

Az MFV módszer alkalmazása igen széleskörű lehet a hidrogeológiában, illetve a hidrodinamikai és transzport modellezés területein. Különböző minimalizálandó kifejezések, célfüggvények, helyparaméterek és hibaparaméterek, sőt még regresszióanalízis is definiálható az MFV módszer használatával a hidrogeológia különböző problémáiban. Egy hidrogeológiai vizsgálat keretében két különböző kútban történt vízszintmérés, ahol erős korreláció áll fenn a beszűrőzött rétegek közötti hidraulikus kapcsolat miatt. Ez a jelenség nagyon gyakran előfordul az üledékes rendszerek esetében, ahol az egyes vízáradó rétegek között átszivárgás lép fel. A vízszintek között fennálló erős kapcsolatot az általánosított és robusztifikált korrelációs tényező szintén megadta [STEINER (Ed.) 1997]. A hagyományos lineáris korrelációs tényező csak gyenge kapcsolatot mutatott a kieső adatok miatt. Ezzel szemben az MFV módszer elhanyagolja a kieső adatokat és a valós lineáris fizikai korrelációt szolgáltatja.

SZÜCS [2002], és SZÜCS, RITTER [2002] sikeresen alkalmazta az MFV módszert az Észak-Magyarországi Regionális Vízművek illetékességi területén különböző vízbázis-védelmi célú próbászivattyúzások kiértékelésében. Új módszert fejlesztettek ki a hidraulikus paraméterek meghatározására, és többletinformációként sor került ezen paraméterek bizonytalanságának meghatározására, amely szükséges a megbízható hidrodinamikai modellezéshez. A javasolt algoritmus jól helyt állt stabilitás és robusztusság szempontjából. Az új módszert sikeresen adaptáltuk különböző próbászivattyúzás kiértékelési eljárásokra (Theis, Jacob, Hantush, Neuman, Witherspoon stb.) is. Fő előnye a javasolt inverziós eljárásnak, hogy egyetlen mért terepi adathalmaz használatával a hidraulikus modellparaméterek bizonytalanságát vagy megbízhatóságát szintén meg lehet adni az MFV módszer és a Monte-Carlo szimuláció segítségével (1. ábra). A kidolgozott módszer alkalmazhatóságát és előnyeit számos északkelet-magyarországi régióból származó vízbázis-védelmi modell fejlesztését bemutató esettanulmányok példáján keresztül bizonyítottuk.

MARSILY és társai [2000] kiváló áttekintő cikket írtak a hidrogeológiában előforduló inverz problémákról. Habár CARRERA, NEUMAN [1986a, b, c] nagyon jó összefoglalást adtak a hidrogeológiai modellezésben használt standard inverz technikákról, még mindig sok tennivaló akad, hogy a gyakorlati szakemberek számára napi rutin feladattá tegyék az inverziós algoritmusokat. A következő esettanulmányok az általunk kidolgozott módszer inverziós alkalmazására mutatnak be néhány egyszerű példát a hidrodinamikai modellezés kalibrációs eredményeinek meghatározásához. A nyugalmi vízszint becslése, ami az áramlási modellből származik, közismerten alkalmazható a modell kalibráció alapjaként. A kalibráció azon modellparaméterek kiválasztásának folyamata, amelyekkel jó illeszkedést érünk el a becslött (vagy számított) és a mért vízszintek között. Gyakorlatilag a kalibráció egy inverz eljárás. Leggyakrabban a kalibrációt a szakember gyakorlati tapasztalatán alapuló ún. trial-and-error módszerrel hajtják végre. A célfüggvény, mint kalibrációs kritérium [ANDERSON, WOESSNER 1992] leggyakrabban az átlagos hiba, az abszolút hiba (L_1 -norma) és a négyzetes hiba (RMS error, L_2 -norma).

¹ Miskolci Egyetem Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszék, H-3515 Miskolc-Egyetemváros



1. ábra. Próbaszivattyúzási adatok értékelésénél a vízföldtani paraméterek és azok bizonytalanságának meghatározása az MFV módszer alkalmazásával

Fig. 1. Determination of the main hydraulic parameters and their uncertainty with the help of the MFV method during pumping test interpretation

Modellezési teszt probléma

Egy egyszerű, nyílt tükrű egyréteges, steady-state hidrodinamikai modellt készítettünk a javasolt globális optimalizáció (SA) és az MFV módszer viselkedésének leírására és szemléltetésére. A modell x -y irányú kiterjedése 1 km x 1 km. A modell réteg teteje 25 m-en van, az alja 0 m-en. Az alkalmazott cellaméret 20 m. Konstans 0,0003 m/nap beszivárgás értéket alkalmaztunk a grid háló tetejére. Négy poligont különítettünk el a vízádóban bekövetkező geológiai változékonyság reprezentálására. A horizontális szivárgási tényezőt minden egyes poligonra állandónak tételeztük fel. Állandó nyomásszintű határfeltételt alkalmaztunk a nyugati és keleti határon a természetes, nyugatról keletre történő talajvízáramlás modellezésére. Egy-egy termelőkút lett elhelyezve az I. ($-400 \text{ m}^3/\text{s}$), II. ($-500 \text{ m}^3/\text{s}$) és III. ($-300 \text{ m}^3/\text{s}$) poligonokban. A IV. poligonban nem található kút. Mivel túlhatározott rendszereket részesítünk előnyben bármely statisztikai interpretációnál, 12 figyelőpontot helyeztünk el a modellben a kalibrációhoz. Munkánk és a szimuláció során modellezési környezetként a Groundwater Modeling System

4.0 [Environmental Modeling ... 2002] programcsomagot alkalmaztuk a tesztfeladat megoldása során. Az adott modellparamétereken alapulva képesek voltunk felépíteni az áramlási modellt a MODFLOW-2000 csomag [HARBOUGH et al. 2000] segítségével. Az áramlási modell felépítése az aktuális modellparamétereken alapulva az ún. direkt feladat megoldása. A vízszintek a 12 megfigyelőpontban pontosan meghatározhatók. Valós mért vízszintadatok szimulálására a megfigyelőpontokban, 2% véletlen jellegű geostatistikai hibát ültettünk rá a pontos vízszintekre. A GMS 4.0 program háromféle beépített lehetőséget biztosít automatikus inverz paraméterbecslésekre. Ezek a PEST (Watermark Numerical Computing, [DOHERTY 2000]), a UCODE [POETER, HILL 1998], és a MODFLOW-2000 PES [HILL et al. 2000] eljárások. A MODFLOW-2000 PES [HARBOUGH et al. 2000] módszert választottuk ki az általunk kifejlesztett, MFV eljárás alapján globális optimalizációs (Metropolis Simulated Annealing) inverziós módszerrel (jelöljük MFV-SA-vel) való összehasonlító kutatáshoz. Az MFV-SA inverz módszert hozzákapsoltuk a közismert MODFLOW-2000 csomaghoz, amely a direkt feladat megoldást szolgáltatja. A jól ismert és most bevezetett hibafüggvények mellett (az RMSE és a P -norma), a relatív modell távolságot (RM) szintén alkalmaztuk az összehasonlított inverziós eljárások pontosságának jellemzésére [DOBRÓKA et al. 1991]. Szintetikus adatok felhasználása esetén a relatív modell távolság szintén használható, mivel az általunk előre felvett modell ismert, míg terepi probléma esetén ezt a paramétert nem tudjuk számítani, mivel a valós modellt sosem ismerjük pontosan.

Az általunk használt MFV módszer a klasszikus Simulated Annealing globális optimalizáció keresésén alapult [SZÜCS, CIVAN 1996], mivel csak négy modellparaméterünk volt. Természetesen nagyobb hidrodinamikai modellek esetében, a Very Fast Simulated Annealing jobban ajánlható a futási idő lecsökkentése érdekében. A Metropolis (SA) algoritmusban a következő paramétereket használtuk: kezdeti hőmérséklet — $T_0 = 1,0$; végső hőmérséklet — $T_f = 0,0001$; hőmérséklet-csökkentési tényező — $\alpha = 0,975$; az iterációk száma minden egyes hőmérsékleten — $R(t) = 300$. Az 1. táblázat összefoglalót ad a MODFLOW-2000 PES és a MFV+SA algoritmussal elért legfontosabb eredményekről. Az eredmények világosan mutatják, hogy bár a célfüggvény értékei (RMSE és P -norma) nincsenek messze egymástól, nagy különbség van a relatív modell-távolság (RM) értékeiben.

Modellterület	Eredeti modellparaméter	A kalibráció eredménye	
		MODFLOW-2000 PES	MFV-SA
I.	25 [m/day]	11.52 [m/day]	18.72 [m/day]
II.	35 [m/day]	27.65 [m/day]	32.14 [m/day]
III.	15 [m/day]	6.46 [m/day]	10.92 [m/day]
IV.	10 [m/day]	1.90 [m/day]	7.38 [m/day]
Hibafüggvény		RMSE = 0.203 m	P -norm = 0.172 m
RM		RM = 0.58	RM = 0.27

1. táblázat. A MODFLOW-2000 PES és az MFV-SA módszerekkel kapott főbb eredmények 2% geostatistikai eloszlás hiba a megfigyelőpontokban mért vízszintekhez való hozzáadásával

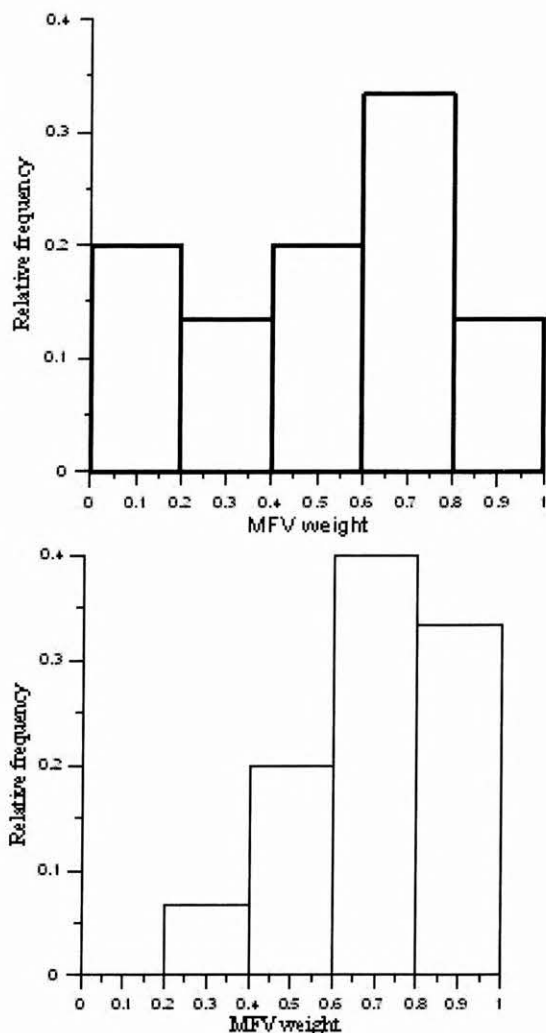
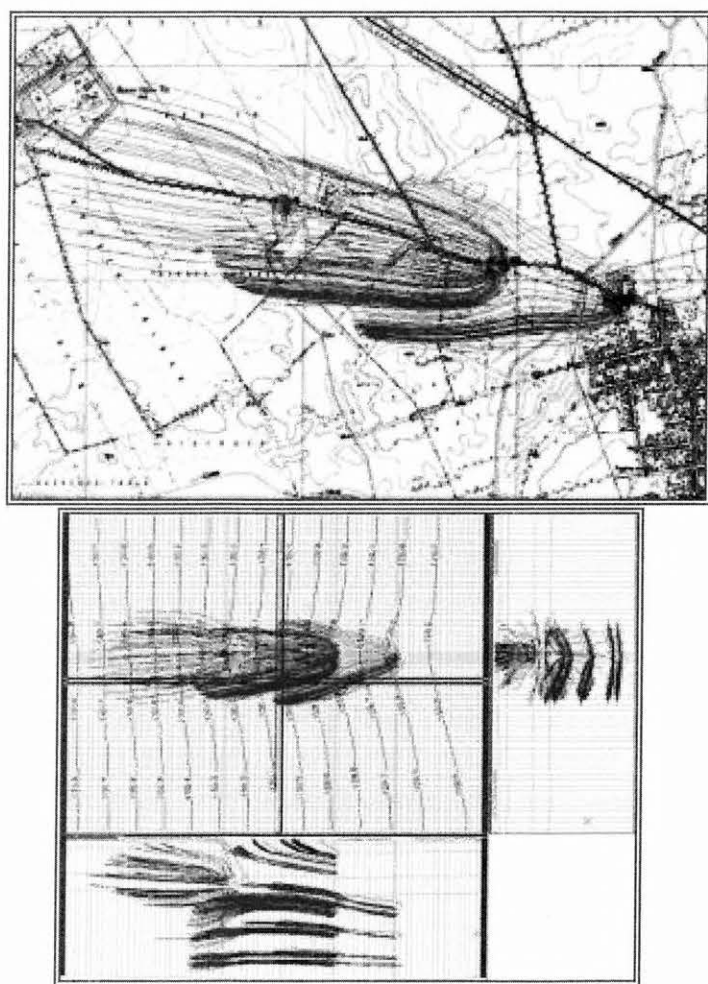
Table 1. The main results of the MODFLOW-2000 PES and MFV-SA modeling simulations adding 2% geostatistical errors to the water level measurements

Terepi modellezési probléma

Az MFV-n alapuló inverz modellezés előnyeit számos terepi példán is bemutattuk. Ugyanakkor egy inverz modellező programot előállítani nem könnyű feladat. A saját szubrutin hozzácsatolása a standard modellező csomagokhoz szintén bonyolult. Éppen ezért a legtöbb gyakorlati szakember a hozzáférhető modellező csomagokat használja a hidrogeológiai értékelésekhez. Ez az oka, amiért itt bemutatjuk, hogy az MFV eljárás milyen könnyen és előnyösen alkalmazható a hidrogeológiai értékelés javítására, még ha a szakemberek a széles körben alkalmazott, professzionális modellező csomagokat alkalmazzák előszeretettel, mint a Groundwater Modeling System (GMS) vagy a Processing Modflow [CHIANG, KINZELBACH 2001]. Habár az említett programokba az inverziós modulok is be vannak építve, mint PEST, UCODE vagy MODFLOW-2000 PES, a *trial-and-error* kalibráció még mindig gyakrabban alkalmazott. A következő vízbázisvédelmi példa azt demonstrál-

ja, hogyan alkalmazható az MFV eljárás a hidrodinamikai modell kalibrációs eredményeinek javítására a hagyományos *trial-and-error* eljárás esetén is.

A sérülékeny vízbázisok védőterületeinek kijelölésénél a hidrodinamikai modellezés eredményére építünk. Hazánkban hasonlóan, mint más országokban ezek a védőövezetek, amelyeken belül a megengedhető tevékenységeket szabályozzák, időbeli védelmet nyújtanak. A 2. ábra az MFV súlyok használatával végzett *trial-and-error* kalibráció végső eredményét mutatja egy vízbázisvédelmi projektnél az 50 éves elérési időre. Ebben az esetben a Processing Modflow 5.3 csomag volt a modellező környezet. A *trial-and-error* kalibráció minden lépésében, az MFV súlyok nagyon látványos és hasznos információt nyújtanak minden megfigyelőpontra az aktuális áramlási modell állapotáról az illeszkedés jószágának vonatkozásában.



2. ábra. Kalibrált áramlási modell az 50 éves elérési időhöz tartozó védőövezet lehatárolásához a celldömölki vízmű esetében. Jobb oldalon az MFV súlyok két hisztogramja található a kalibrációs eljárás alatt. Fent a kalibráció egy korai, míg az alsó a kalibráció végén kapott hisztogramot mutat

Fig. 2. The calibrated flow model for the 50-year-long well-head protection zone in case of the Celldömölk waterworks. There are two histograms concerning the MFV weights on the right side. The upper one represents an early stage of the calibration. The lower one shows the final result

Összefoglalás

A pályázat keretében elvégzett vizsgálatok alapján a következő főbb megállapításokat tehetjük [SZÜCS, CIVAN, VIRÁG 2006]:

1. A leggyakoribb érték módszere sikeresen alkalmazható a különböző típusú hidrogeológiai modellezési problémák megoldására. A könnyen alkalmazható robusztus és rezisztens MFV eljárás nagy hatásfokot és rezisztens viselkedést biztosít.
2. A globális optimalizáció alkalmazásának a hidrodinamikai és transzport modellezésben sokkal elterjedtebbé kell válnia a közeljövőben. A nagy megbízhatóságú VFSA módszer nem kívánja meg a modellparaméterek kezdeti értékének a tényleges értékekhez közel eső becslését.
3. A leggyakoribb érték módszerén alapuló automatizált paraméterbecslő eljárást fejlesztettünk ki, amelyet hozzákapsoltunk a MODFLOW-2000 referenciaprogramhoz, annak érdekében, hogy a különböző modellek kalibrációját nagyobb pontossággal lehessen végrehajtani.
4. A vízszint és egyéb típusú hidrogeológiai adatok leggyakoribb érték szerinti súlyozása könnyen használható a modellezési eredmények javítására a hagyományos trial-and-error kalibrációs folyamat során. Így például a területhasználati korlátozást jelentő vízbázisvédelmi célú védőterületek kijelölése nagyobb pontossággal és megbízhatósággal történhet.

Köszönetnyilvánítás

A pályázat résztvevői köszönetüket fejezik ki az Országos Tudományos Kutatási Alapnak (szerződésszám: OTKA T 031741), a GVOP programnak (GVOP-3.1.1.-2004-05-0187/3.0) és a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj Program Kuratóriumának.

HIVATKOZÁSOK

- ANDERSON M. P., WOESSNER W. W. 1992: Applied Groundwater Modeling. Academic Press, San Diego, Calif., 381 p.
- CARRERA J., NEUMAN S. P. 1986a: Estimation of aquifer parameters under transient and steady state conditions. 1. Maximum likelihood method incorporating prior information. Water Resources Research 22, 2, p. 199–210
- CARRERA J., NEUMAN S. P. 1986b: Estimation of aquifer parameters under transient and steady state conditions. 2. Uniqueness, stability and pollution algorithms. Water Resources Research 22, 2, p. 211–227
- CARRERA J., NEUMAN S. P. 1986c: Estimation of aquifer parameters under transient and steady state conditions. 3.

- Application to synthetic and field data. Water Resources Research 22, 2, p. 228–242
- CHIANG W. H., KINZELBACH W. 2001: 3D Groundwater modeling with PMWIN. A simulation system for modeling groundwater flow and pollution. Springer Verlag, 346 p.
- DOBROKA M., GYULAI Á., ORMOS T., CSÓKÁS J., DRESEN L. 1991: Joint inversion of seismic and geoelectric data recorded in an underground coal mine. Geophysical Prospecting 39, p. 643–665
- DOHERTY J. 2000: PEST, Model Independent Parameter Estimation, fourth edition, program documentation, Watermark Numerical Computing, p. 249
- Environmental Modeling Research Laboratory (EMRL) of Brigham Young University (2002): Groundwater Modeling System (GMS 4.0), Tutorial Manual
- HARBOUGH A. W., BANTA E. R., HILL M. C., McDONALD M. G. 2000: MODFLOW-2000, The U.S. Geological Survey Modular Ground Water Model — User guide to modularization concepts and the groundwater flow process. U.S. Geological Survey, Open File Report 00–92
- HILL M. C., BANTA E. R., HARBOUGH A. W., ANDERMAN E. R. 2000: MODFLOW-2000, The U.S. Geological Survey Modular Ground Water Model — User Guide to the Observation, Sensitivity, and Parameter Estimation Processes and Three Post Processing Programs. U.S. Geological Survey, Open File Report 00–184
- MARSILY DE GH., DELHOMME J. P., COUNDRAIN RIBSTEIN A., LAVENUE A. M. 2000: Four Decades of Inverse Problems in Hydrogeology. Paru dans Geophysical Society of America, Special paper 348, p. 1–28
- POETER E. P., HILL M. C. 1998: Documentation of UCODE. A Computer Code for Universal Inverse Modeling. U.S. Geological Survey, Water Resources Investigations Report 98–4080
- STEINER F. (Ed.) 1991. The Most Frequent Value. Introduction to a Modern Conception Statistics. Akadémiai Kiadó, Budapest, Hungary, 314 p.
- STEINER F. (Ed.) 1997: Optimum methods in statistics. Akadémiai Kiadó, Budapest
- SZÜCS P. 2002: Inversion of pumping test data for improved interpretation. microCAD 2002, International Scientific Conference, University of Miskolc, A: Geoinformatics, p. 107–112, March 7–8
- SZÜCS P., CIVAN F. 1996: Multi layer well log interpretation using the simulated annealing method. Journal of Petroleum Science and Engineering 14, p. 209–220
- SZÜCS P., CIVAN F., VIRÁG M. 2006: Applicability of the most frequent value method in groundwater modeling. Hydrogeology Journal 14, p. 31–43, Springer Verlag
- SZÜCS P., RITTER Gy. 2002: Improved interpretation of pumping test results using simulated annealing optimization. Model-CARE 2002, Proceedings of the 4th International Conference on Calibration and Reliability in Groundwater Modeling. Prague, Czech Republic, 17–20 June 2002. Acta Universitatis Carolinae — Geologica 46, 2/3, p. 238–241

Magyarországi földrengések hipocentrumának és fészekmechanizmusának meghatározása teljes hullámforma inverzióval

WÉBER ZOLTÁN¹

OTKA nyilvántartási szám: F 029076

Z. WÉBER: Full waveform inversion of Hungarian earthquake data for hypocenter coordinates and focal mechanism

During the time period of 1999–2002, the problems associated with the waveform inversion of weak local earthquakes in the Pannonian region were investigated with the pecuniary assistance of the Hungarian Scientific Research Fund (OTKA). The main stress was laid on the determination of the hypocentral coordinates and focal mechanism (moment tensor) of the seismic events.

The depth dependent one-dimensional velocity model of the earth crust, needed by any waveform inversion procedure, has been estimated by the inversion of traveltime data produced by controlled source deep seismic experiments. The P-wave velocities in the uppermost mantle beneath the Pannonian basin have been further refined by tomographically imaging the traveltimes of first Pn arrivals of regional earthquakes.

An algorithm for the inversion of short-period waveforms of weak local earthquakes has been worked out and implemented in order to retrieve the source mechanism, source time function, and hypocentral coordinates. For the statistical validation of the results the bootstrapping technique was used. The estimated uncertainties in the resulting moment tensor components can be plotted on the focal sphere in such a way, that the significance of the double-couple, CLVD, and volumetric parts of the source can be assessed. The source parameters for the inverted events have been arranged in a suitable data base.

1. Bevezetés

A szeizmológia egyik legfontosabb feladata a kipattant földrengések hipocentrumának és fészekmechanizmusának minél pontosabb meghatározása, valamint az így kapott eredmények felhasználása a recens kéregmozgások irányának és mértékének megállapításában. Kutatásaim célja a hazánkban kipattant és digitális technikával regisztrált földrengések fészekparamétereinek (hipocentrumának és momentumtenzorának) meghatározása, az eredmények adatbázisban való rendszerezése és értelmezése volt. Ezzel egyidejűleg pontosítani kívántam a hazánk területére jellemző egydimenziós sebességmodellt is.

Hazánk területe közepes szeizmikus aktivitást mutat és a többnyire kis energiájú rengések digitális regisztrálására csupán mintegy egy évtizede van lehetőség. A lakosság által nem is érzékelt gyenge rengéseket gyakran csak néhány állomás rögzíti. Ezért a tervezett feladat elvégzéséhez olyan módszert alkalmaztam, amely a rendelkezésre álló adatokból a lehető legtöbb információt képes kinyerni. Választásom a teljes hullámforma inverzió módszerére esett. Ez az eljárás az inverziós feladat megoldásához a műszerek által regisztrált összes adatot, azaz a teljes hullámformát felhasználja. Az eljárás lényege az, hogy az ismeretlen fizikai paraméterek (fészekmechanizmus, hipocentrum) értékeit addig változtatjuk, míg a számított szintetikus szeizmogram nem mutat valamilyen értelemben vett jó egyezést a mért szeizmogrammal. Az eljárás igen számítás-igényes, azonban a ma már rendelkezésünkre álló számítástechnikai eszközök lehetővé teszik alkalmazását.

A vizsgált földrengések fészekparamétereit tartalmazó átfogó adatbázis elsősorban a hazánk tektonikájával, szeizmicitásával, a recens kéregmozgások és feszültségirányok kutatásával foglalkozó földtudományi szakemberek számára nyújthat komoly segítséget. Ismerve a földrengés hipocentrumát, megállapítható, hogy az melyik ismert vagy kevésbé ismert törésvonallal van kapcsolatban, a fészekmechanizmus pedig az érintkező közelemek mozgásirányáról és a mozgás mértékéről árulkodik. A hazánkban leggyakrabban előforduló fészekmechanizmus, az átlagos fészekmélység és a jellemző sebességmodell ismerete arra is lehetőséget ad, hogy szintetikus szeizmogramok számításával megbecsülhessük, milyen hatása lehet egy földrengésnek valamely szűkebb régióban. Minél több rengés fészekmechanizmusáról vannak adataink, annál megbízhatóbb következtetéseket vonhatunk le belőlük.

A kutatási eredmények között feltétlenül meg kell említenem a tényleges adatfeldolgozást megelőző módszertani kutatás végtermékét, a számítógépes programcsomagot is. Egy inverziós módszer kidolgozása, megvalósítása és használatba állítása általában számos elméleti megfontolást és kutatást igényel, melynek eredményeire mindig kíváncsi a szakmai közönség.

Az alábbiakban röviden összefoglalom a kutatási időszak alatt elért új eredményeket. Az egyes témakörök részletes tárgyalását a hivatkozott publikációkban találja meg az érdeklődő olvasó.

2. Sebességeloszlás a Pannon-medencében

A kutatás során az inverzióhoz használt sebességmodellt ismertnek tételezem fel. Annak érdekében, hogy az általam felállított és az inverzió során alkalmazott sebességmodell minél megbízhatóbb legyen, mesterséges szeizmikus forrá-

¹ MTA GGKI Szeizmológiai Observatórium, H-1112 Budapest, Meredek u. 18.

sok által kibocsátott rugalmas hullámok menetidőit dolgoztam fel. A hazánkban végzett CELEBRATION-2000 elnevezésű mélyszeizmikus mérések során alkalmazott források jeleit a szeizmológiai hálózat is regisztrálta. Az így kapott menetidőadatok alapján klasszikus módszerekkel fel tudtam állítani egy olyan átlagos egydimenziós sebességmodellt, amely a földkéregben négy réteget tartalmaz. Az egydimenziós sebességhatározáson kívül tomográfias vizsgálatokat is végeztem, melynek célja a Moho felület alatti térrészre, azaz a legfelső köpenyre jellemző longitudinális hullámterjedési sebesség horizontális eloszlásának meghatározása volt.

A Pn hullámok olyan refraktált P hullámok, amelyek útjuk nagy részét közvetlenül a földkéreg és a köpenyt elválasztó Moho határfelület alatt, a legfelső köpenyben teszik meg. A Pn beérkezési idők tomografikus inverziójával tehát a hullámsebesség laterális eloszlását becsülhetjük meg a földköpeny legfelső részében. A Pn sebesség laterális eloszlása függ a köpeny hőmérsékletétől, az anyagösszetételtől és a nyomásviszonyoktól. A Pn sebesség eloszlásának megismerése tehát fontos információkat nyújt a kéregfejlődést befolyásoló tektonikai deformációk megismeréséhez.

Annak érdekében, hogy jobban megismerjük, megérthessük a Pannon-medence kialakulását, regionális földrendések Pn menetidőinek tomografikus inverziójával meghatároztam a legfelső köpenyben érvényes Pn sebességek eloszlását [WÉBER 2002].

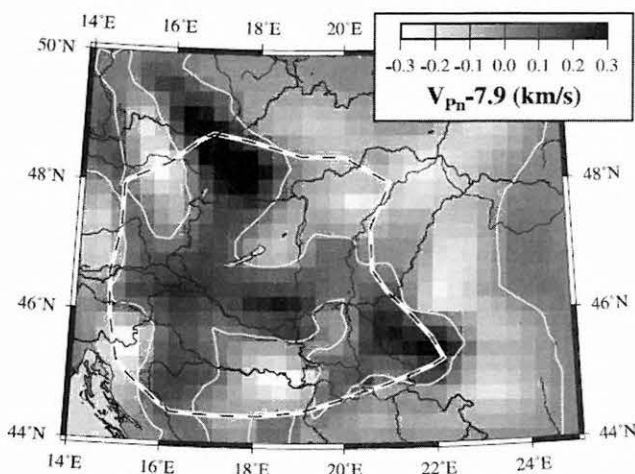
A Pn menetidőket az International Seismological Centre (ISC) adatai, valamint az MTA Szeizmológiai Observatóriumában elérhető adatok alapján gyűjtöttem ki. Szigorú feltételeken alapuló válogatás után mintegy 4216 menetidőt tartottam meg a további feldolgozás céljára (52 állomás, 393 földrengés). A vizsgált terület a 44–50. szélességi és a 14–25. hosszúsági fokok között terül el, amelyet a tomografikus inverzió végrehajtása céljából 50 km x 50 km-es cellákra osztottam fel. A cellák — és így az ismeretlen sebességértékek száma — 238-nak adódott. Az inverzió végrehajtásához olyan homogén kezdeti modellt definiáltam, amelyben a terjedési sebesség megegyezik az átlagos Pn sebességgel. Ez az átlagos sebesség — a mérési adatokra illesztett egyenes menetidőgörbe meredekségéből számolva — 7,9 km/s-nak adódott. A tomografikus egyenletrendszer megoldása a Pn sebességek átlagostól való eltérését adja meg.

A tomografikus egyenletrendszer felállításához a HEARN [1984] és HEARN, NI [1994] által ismertetett eljárást alkalmaztam, míg az egyenletrendszert az SVD csonkítás módszerével oldottam meg [XU 1998]. Mint ismeretes, a tomográfias mátrix SVD felbontását és általánosított inverzét ismerve könnyen meghatározható a kapott eredmény felbontása és így megbízhatósága. A 1. ábrán bemutatott Pn sebességanomália-térképen a megbízhatónak ítélt terület külső határát vastag fehér görbe jelöli.

Az események és az állomások erősen inhomogén eloszlása miatt a sugarak eloszlása is igen inhomogén. Ezért a megoldás felbontása a vizsgált terület nagy részén nem elégséges. Mindazonáltal a megbízható eredményeket tartalmazó területen jellegzetes anomáliák figyelhetők meg.

Az átlagos kompressziós hullámsebesség a Pannon-medence alatti legfelső köpenyben 7,9 km/s, ami jóval alacsonyabb a 8,1 km/s-os kontinentális átlagnál. Ez elsősorban a Moho mélységében tapasztalható magas hőmérsékletnek

tulajdonítható. Az Északi-középhegység alatt, ahol a közepe miocénben aktív vulkáni tevékenység folyt, még alacsonyabb (7,6–7,7 km/s) sebességértékek adódtak. Pozitív sebességanomáliákat láthatunk Magyarország nyugati-déli nyugati határai mentén, valamint a Pannon-medence és a Déli-Kárpátok találkozásánál, ahol a sebesség eléri a 8,1 km/s-ot. Az Alföld alatt átlagos (7,9 km/s) sebességeket találhatunk.



1. ábra. A Pn sebességanomáliák eloszlása a Pannon-medencében. Az anomália értékeket a 7,9 km/s átlagos sebességhez kell viszonyítani. A vékony fehér kontúrvonal a zérus sebességanomáliát jelöli. A vastag fehér görbe a megbízható eredményeket tartalmazó terület külső határát jelöli ki

Fig. 1. Pn velocity in the Pannonian basin and its surrounding regions relative to an average velocity of 7.9 km/s. The thin white contour line denotes zero velocity anomaly. The resolution can be considered as satisfactory only inside the region surrounded by the white closed curve superimposed on the image

3. Hullámforma inverzió

A hullámforma inverzió lényege abban áll, hogy egy alkalmasan megválasztott algoritmust követve megkeressük az ismeretlen fizikai paraméterek (fészekmechanizmus, hipocentrum) azon értékeit, melyek mellett a számított szintetikus szeizmogram valamilyen értelemben a lehető legjobban közelíti a mért szeizmogramot. Mivel a paraméterek és a hullámformák között általában nemlineáris függvénykapcsolat áll fenn, olyan iterációs eljárást kell követnünk, amely minden egyes iterációs lépés alkalmával megold egy direkt feladatot (modellezést) és egy lineáris egyenletrendszert.

Amennyiben a rengés hipocentrumának koordinátái és a földkéregre jellemző sebességmodell ismertek, a momentumtenzor meghatározását célul tűző teljes hullámforma inverzió lineáris feladattá egyszerűsödik. Mivel a földrengés által generált hullámformát (source time function, rövidítve STF) sem ismerjük, a momentumtenzor hat független komponensét egy-egy időszornak tekinthetjük. Az időtől függő momentumtenzor elemeire egy olyan lineáris egyenletrendszert kapunk, amelynek mátrixát lényegében a hipocentrum és a sebességmodell ismeretében számított Green-függvények alkotják [STUMP, JOHNSON 1977; AKI, RICHARDS 1980; SIPKIN 1982; KOCH 1991a,b]. Az egyenletrendszernek azt a megoldását keressük, amely mellett a

számított és mért szeizmogramok közötti négyzetes eltérés minimális. Ilyen megoldáshoz jutunk pl. a csonkított szinguláris dekompozíció (TSVD) alkalmazásával [pl. AKI, RICHARDS 1980; XU 1998]. Ezt a módszert alkalmazva nemcsak az ismeretlenek legkisebb négyzetes értelemben vett legjobb értékét kapjuk meg, hanem azok hibáját is megbecsülhetjük. A csonkítás mértékének változtatásával befolyásolhatjuk az elérhető felbontást és modellhibát.

Amikor lokális földrengések hullámformáit kell feldolgoznunk, a szintetikus szeizmogramokat (Green-függvényeket) kis epicentrális távolságok mellett és viszonylag magas frekvenciákig kell kiszámolnunk, ami végeredményben azt jelenti, hogy a Green-függvények erősen függenek a hipocentrum koordinátáitól. Lokális rengések hullámforma inverziója során tehát nem tekinthetünk el attól, hogy a hipocentrumot is ismeretlennek tekintjük. Ez pedig az inverziós probléma nemlinearitását eredményezi.

Az alkalmazott eljárás során a hipocentrum koordinátáit egy háromdimenziós rácsháló pontjaiban keressük (grid search): a rácsháló minden egyes pontjára mint hipocentrumra elvégezzük a lineáris inverziót, majd a legjobb illeszkedést produkáló megoldást tekintjük végső eredménynek [WÉBER 2004].

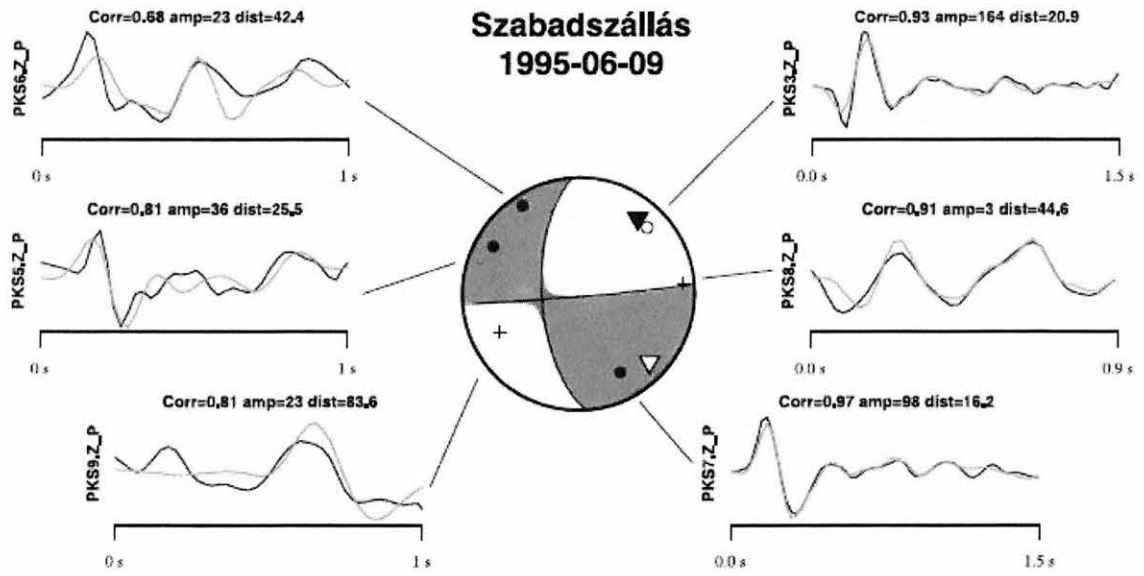
A geofizikai inverzió egyik kulcsfontosságú része a kapott eredmények megbízhatóságának becslése. Esetünkben a mérési adatok hibája és a pontatlan sebességmodell alkalmazásából eredő hibák nem, vagy csak nehezen becsülhetők, valamint ezen hibáknak az eredmények hibájára gyakorolt hatását nemlineáris függvénykapcsolat írja le. Az inverziós megoldás megbízhatóságát így csupán statisztikai módszerekkel becsülhetjük meg.

Az általam alkalmazott bootstrap inverzió lényege, hogy a rendelkezésünkre álló mérési adatokból új mérési adatsorokat hozunk létre, majd ezeken újra elvégezzük az inverziót [TICHELAR, RUFF 1989]. Egy-egy bootstrap adatsort úgy állítunk elő, hogy N adatot véletlenszerűen kiválasztunk az

eredeti N mérési adatból oly módon, hogy egyes eredeti adatok többször is előfordulhatnak az új adatsorban. Bizonyítható, hogy néhány száz bootstrap inverzió során kapott eredmények tapasztalati eloszlása jól közelíti a valódi eloszlást, és így ezzel a módszerrel megfelelő képet kaphatunk a megoldás tetemes számítógépes futási idő igényel, de cserében a becsült konfidenciaintervallumok alapján megállapíthatjuk például, hogy az inverzió során kapott momentumtenzor izotróp és/vagy CLVD komponensei szignifikánsak-e, vagy nagyságuk a hibahatáron belül vannak [WÉBER 2004]. A momentumtenzor sajátengelyeinek, azaz a P és T tengelyek irányának megbízhatóságát ismernünk kell akkor is, amikor meg kívánjuk becsülni egy adott térségben uralkodó feszültségtér fő irányait.

Az előzőekben ismertetett inverziós eljárás illusztrálása érdekében az alábbiakban bemutatok egy konkrét alkalmazási példát. A feldolgozásra kiválasztott esemény hazánk középső részén, Szabadszállás körzetében pattant ki. A számítások elvégzése előtt szükség volt a hullámformák gondos válogatására és megfelelő előkészítésére. Az inverzió során az STF-et és a hipocentrumot is ismeretlennek vettem és azt is megengedtem, hogy a momentumtenzor a legáltalánosabb alakját vegye fel. (Az alkalmazott eljárás lehetővé tesz olyan kikötést, miszerint a momentumtenzor nem tartalmazhat izotróp összetevőt. Ilyenkor a momentumtenzornak csupán öt független komponense létezik.)

A 2. ábra a Szabadszállás mellett 1995. június 9-én kaptant földrengés mért hullámformáit (fekete görbe) valamint az inverzióval kapott fészekparaméterek mellett számított szintetikus szeizmogramokat (szürke görbe) hasonlítja össze. A hullámformák feletti számok rendre a következő jelentéssel bírnak: normalizált korreláció, maximális amplitúdó nanométerben és az epicentrális távolság km-ben. Az ábra közepén az esemény fészekmechanizmusa látható klasszikus „strandlabda” ábrázolásban.

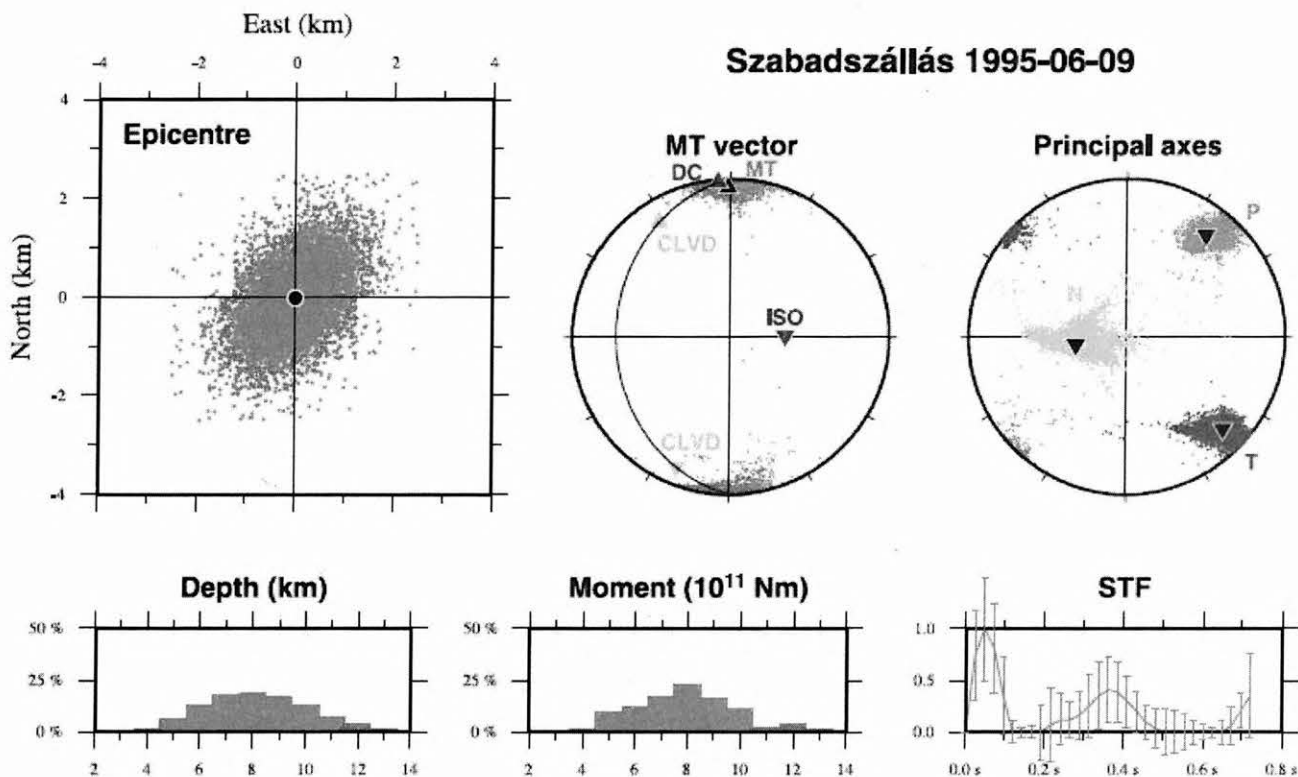


2. ábra. Az 1995. június 9-én, Szabadszállás környékén kipattant földrengés hullámformái és legvalószínűbb fészekmechanizmusa. Az észlelt szeizmogramok (fekete görbék) egy 1–5 Hz-es sávszűrőn estek át az inverzió előtt. A szintetikus szeizmogramokat (szürke görbék) az inverzióval kapott forrásparaméterek alapján számítottuk

Fig. 2. Waveform comparison and best focal mechanism for the local event that occurred on June 9, 1995 in Szabadszállás, Hungary. The observed seismograms (black lines) are band-pass filtered with cut-off frequencies of 1 and 5 Hz. The synthetic waveforms (gray lines) are computed using the inverted source parameters

A 3. ábra a számított fészekmechanizmus különböző paramétereinek eloszlását szemlélteti hisztogramok és pontfelhők segítségével. A jobb felső ábra a bootstrap inverzió során kapott számos momentumtenzor sajátengelyeinek fokális gömbön való elhelyezkedését mutatja. Jól látható, hogy a P tengely, amely jó közelítéssel a kompressziós feszültség irányát adja meg, ÉK–DNy orientációjú. A momentumtenzor sajátvektorainak sajátértékek szerinti súlyozott összege egy vektort eredményez, amely szintén jól jellemzi a fészekmechanizmust. Ezeket a vektorokat ábrázolja a felső sor középső ábrája, amely a tiszta double-

couple (DC), CLVD és izotróp (ISO) komponensek helyzetét is jelöli [RIEDEL, JORDAN 1989]. MT jelöli a legvalószínűbb megoldást. A megrajzott főkre eső MT vektorok nem tartalmaznak izotróp összetevőt. Ez az ábrázolási mód lehetőséget ad arra, hogy az MT vektorokat jelképező pontfelhő helyzete alapján következtetéseket vonjunk le arra vonatkozóan, hogy a megoldásban szereplő CLVD és/vagy izotróp összetevők szignifikáns elemei-e a megoldásnak. Esetünkben sem az izotróp, sem a CLVD komponens nem szignifikáns.



3. ábra. Az 1995. június 9-i esemény forrásparámtereinek eloszlása. Az epicentrum bizonytalanságát ábrázoló pontfelhő origója egybeesik az *a priori* epicentrummal. A forrásfüggvényen (STF) ábrázolt hiba a 95%-os konfidencia szintnek felel meg. A momentumtenzor (MT) eloszlásának illusztrálásához RIEDEL, JORDAN [1989] módszerét alkalmaztuk

Fig. 3. Histograms and scatter density plots of the source parameters obtained for the 1995 June 9 event. The origin of the epicentral scatter plot coincides with the *a priori* epicentre. The error bars shown on the plot of the source time function (STF) are constructed for the 95% confidence level. For displaying the distribution of the moment tensor (MT) solutions, the method of RIEDEL, JORDAN [1989] is employed

4. A kutatási téma további lehetséges irányai

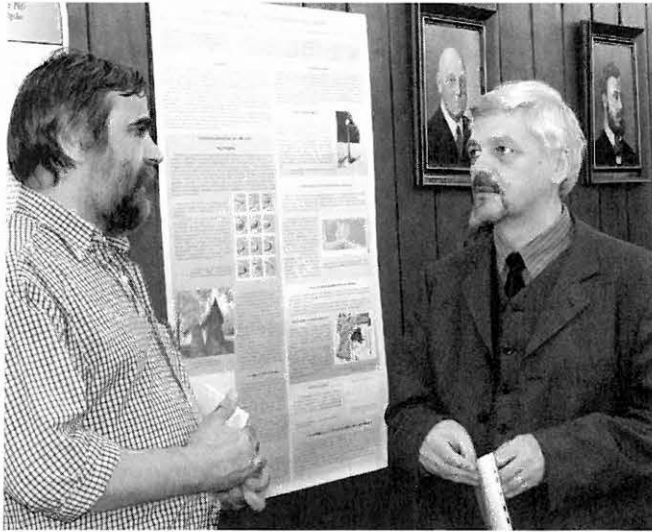
A kutatás folytatásának legfontosabb iránya a fészekmechanizmust is leíró adatokkal kiegészített földrengés adatbázis minél teljesebb kiépítése. Ezzel kapcsolatban fontosnak tartom azt is, hogy ez az adatbázis mihamarabb könnyen elérhető legyen a nagyközönség, de főleg a szakmai közönség számára. Az ennek érdekében létrehozandó internetes honlap készítése jelenleg folyamatban van.

Egy-egy kutatási terület tektonikájának megismeréséhez nélkülözhetetlen a feszültségtér fő irányának ismerete. Kellő számú esemény momentumtenzorának — pontosabban azok sajátvektorainak (P -, T - és N -tengelyeinek) —

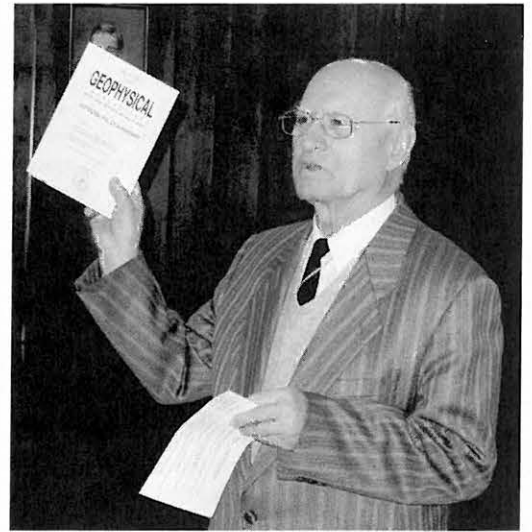
ismeretében, erre a célra külön kidolgozott inverziós eljárással, a feszültségtér iránya megbecsülhető [GEPHART, FORSYTH 1984; ANGELIER 1990]. Elegendő számú esemény fészekmechanizmusának ismerete tehát lehetőséget teremt arra, hogy az ország egyes területein meghatározzuk az uralkodó feszültségirányokat.

Ahhoz azonban, hogy a fenti célokat elérjük, elkerülhetetlennek tartom a további szoftverfejlesztést is. A projekt befejezése óta történtek már lépések ebben az irányban [WÉBER 2005, 2006], de ennek tárgyalása már egy másik OTKA-kutatás keretébe tartozik.

- AKI K., RICHARDS P. 1980: Quantitative Seismology: Theory and Methods. Freeman, San Francisco
- ANGELIER J. 1990: Inversion of field data in fault tectonics to obtain the regional stress — III. A new rapid direct inversion method by analytical means. *Geophys. J. Int.* **103**, 363–376
- EFRON B., TIBSHIRANI R. 1986: Bootstrap methods for standard errors, confidence intervals, and other measurements of statistical accuracy. *Stat. Sci.* **1**, 54–77
- GEPHART J. W., FORSYTH D. W. 1984: An improved method for determining the regional stress tensor using earthquake focal mechanism data: application to the San Fernando earthquake sequence. *J. Geophys. Res.* **89** (B11), 9305–9320
- HEARN T. M. 1984: Pn travel times in Southern California. *J. Geophys. Res.* **89**, 1843–1855
- HEARN T. M., NI J. F. 1994: Pn velocities beneath continental collision zones: the Turkish–Iranian Plateau. *Geophys. J. Int.* **117**, 273–283
- KOCH K. 1991a: Moment tensor inversion of local earthquake data — I. Investigation of the method and its numerical stability with model calculations. *Geophys. J. Int.* **106**, 305–319
- KOCH K. 1991b: Moment tensor inversion of local earthquake data — II. Application to aftershocks of the May 1980 Mammoth Lakes earthquakes. *Geophys. J. Int.* **106**, 321–332
- RIEDEL M. A., JORDAN T. H. 1989: Display and assessment of seismic moment tensors. *Bulletin of the Seismological Society of America* **79**, 85–100
- SIPKIN S. A. 1982: Estimation of earthquake source parameters by the inversion of waveform data: synthetic waveforms. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* **30**, 242–259
- STUMP B. W., JOHNSON L. R. 1977: The determination of source properties by the linear inversion of seismograms. *Bulletin of the Seismological Society of America* **67**, 1489–1502
- TICHELAR B. W., RUFF L. J. 1989: How good are our best models? Jackknifing, bootstrapping, and earthquake depth. *EOS Trans. AGU* **70**, 593
- WÉBER Z. 2002: Imaging Pn velocities beneath the Pannonian basin. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* **129**, 283–300
- WÉBER Z. 2004: Bootstrap inversion of local earthquake data in the Pannonian basin. *Geophysical Transactions* **44**, 221–239
- WÉBER Z. 2005: Probabilistic waveform inversion for focal parameters of local earthquakes. *Acta Geod. Geoph. Hung.* **40**, 229–239
- WÉBER Z. 2006: Probabilistic local waveform inversion for moment tensor and hypocentral location. *Geophys. J. Int.* **165**, 607–621
- XU P. 1998: Truncated SVD methods for discrete linear ill-posed problems. *Geophys. J. Int.* **135**, 505–514



TÖRÖS Endre és SZARKA László



ÁDÁM Antal

Bádeni utáni vízszintes mozgások a Kárpát-medencében, komplex paleomágneses és mikrotektonikai tanulmány

MÁRTONNÉ SZALAY EMŐKE¹, FODOR LÁSZLÓ², MAGYAR IMRE³

OTKA nyilvántartási szám: T 034364

A projekt célja az volt, hogy fiatal (bádeni utáni) mozgásokat mutassunk ki a Kárpát-medencében, és ezeket geodinamikai szempontból értelmezzük. A vizsgálat legszélesebb körben alkalmazott módszere a paleomágnesség volt, lehetőleg szerkezeti elemzéssel kombinálva. Mivel a mozgások kora szempontjából fontos volt a vizsgált kőzetek rétegtani besorolása, új biosztratigráfiai vizsgálatokat is végeztünk néhány olyan helyen, ahol a pannóniai üledékek korát nem ismertük pontosan.

Az eredményeket a következőképpen foglalhatjuk össze. A Kárpát-medence több helyén kb. 30°-os, az óramutató járásával ellentétes forgásra utaló paleomágneses deklinációkat mértünk. A forgások korát 5,6–3,6 millió évre becsülhetjük a Kárpát-medence déli részén (a Pohorjétól a Fruška Goráig) és ugyanebben a fázisban mozoghatott a Dunántúli-középhegység és a Soproni-hegység–Bécsi-medence. Egy idősebb, de ugyancsak bádeni utáni (kb. 12 millió év) fázis ismerhető fel a Tokaji-hegységben és a Transzkárpáti-medencében (Szlovákiában éppúgy, mint Romániában).

A geodinamikai kapcsolatokat tekintve, a 12 millió év környékén történt forgások kárpáti szubdukcióhoz köthetők, míg a fiatalabb (5,6–3,6 millió év) mozgásokat az észak felé mozgó és óramutató járásával ellentétesen rotáló Adriai-mikrolemmez okozhatta.

E. MÁRTON, L. FODOR, I. MAGYAR: Post Badenian horizontal movements in the Pannonian Basin: a complex paleomagnetic-microtectonic study

The aim of the project was to document young (post-Badenian) movements in the Pannonian basin and interpret them geodynamically. The principal method applied was paleomagnetism, when possible, in combination with structural analysis. As the age of the studied rocks was critical, new biostratigraphical studies were also carried out on some earlier loosely dated Pannonian sediments.

The results can be summarized as follows. Counter clockwise rotations of about 30° was found at several parts of the Pannonian basin. They can be dated as of about 5.6–3.6 Ma in the South Pannonian Basin (from the Pohorje down to the Fruška Gora) and the same event is likely to have involved the Transdanubian Central Range and the Sopron Hills–Vienna basin. An older post-Badenian rotation phase (around 12 Ma) characterizes the Tokaj Hills and the Transcarpathian depression (both in Slovakia and in Romania).

Geodynamically, the rotation taking place around 12 Ma can be connected to subduction in the Carpathians, while the younger one (5.6–3.6 Ma) must have been caused by the northward travelling and counter clockwise rotating Adriatic microplate.

Bevezetés

A pályázat célja a Kárpát-medence fiatal mozgásainak dokumentálása és geodinamikai értelmezése volt. Ezt paleomágneses és mikrotektonikai mérésekkel kívántuk elérni. Az értelmezés szempontjából fontos kérdés volt a jeleket hordozó kőzetek korának lehető legpontosabb ismerete. A korra vonatkozó információ általában publikációkban rendelkezésre állt, de a hazai pannon korú feltárások közül néhánynak a jelen projekt keretében történt meg a korbesorolása. A paleomágneses kutatás kiterjedt az egész Kárpát-medencére, így külföldi kutatók is hozzájárultak az alább ismertetendő eredmények eléréséhez, vagy tudományos akadémiák közötti kutatócsere vagy kormányközi tudományos és technológiai együttműködés keretében. Utóbbi kategóriába sorolhatók azok a munkáink, amelyek a

Mura-medence és a Pohorje területén nemcsak paleomágneses, hanem mikrotektonikai vizsgálatokat is magukba foglaltak. Határainkon belül a két módszer együttes alkalmazására a Dunántúlon került sor.

A projekt keretében két téglagyári feltárás (Mályi és Balatonszentgyörgy) és két nagyobb terület (a Bükkaljai Formáció a Mátra és a Bükk előterében, és a Tihanyi Formáció az M7-es autópálya új szakaszainak bevágásaiban) biosztratigráfiai vizsgálatára került sor. Az életrétegtani besorolás a Pannon-tó csökkentsósvízi puhatestűi alapján készült, az ezekre a fossziliákra korábban kidolgozott rendszer használatával [MAGYAR, GEARY, MÜLLER 1999]. Az egyes biozónák határainak numerikus korát részben radiometrikus korhatározási eredmények alapján, részben az Európában használt emlős-zonációval (MN-zónák) való párhuzamosítás útján állapítottuk meg.

A mikrotektonika területén Magyarországon egyrészt új szerkezetföldtani méréseket végeztünk, amelyek alapján feszültségtér-számítás, illetve több esetben csak feszültségtér-bebecslést végeztünk a Soproni-hegységben, a Gerecse nyugati előterében és a Vértes délkeleti előterében nagyobb területen, míg a Balaton déli előterében, a Balatonfelvidéken és a Zalai-dombságban szórvány adataink van-

¹ Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet,
H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23. E-mail: paleo@elgi.hu

² Magyar Állami Földtani Intézet,
H-1143 Budapest, Stefánia út 14. E-mail: fodor@mafi.hu

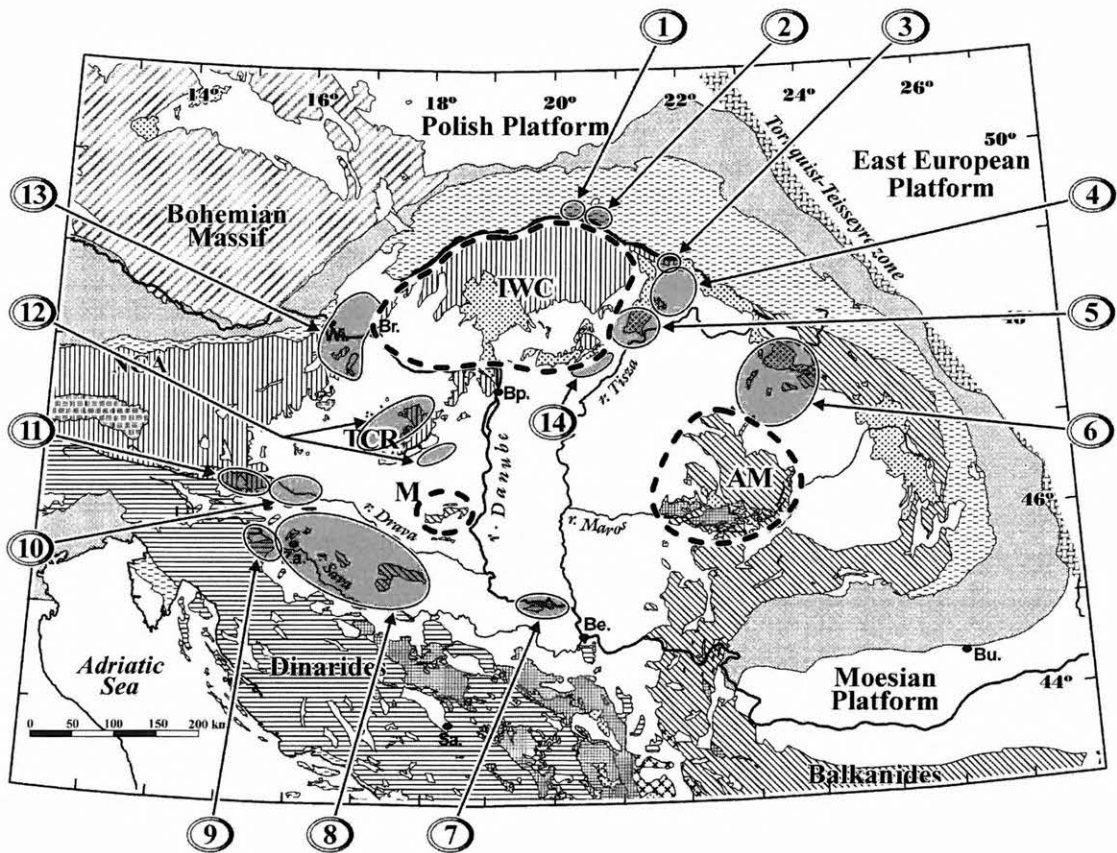
³ MOL Nyrt. Hazai Kutatási-Termelési Divízió,
H-1039 Budapest. Batthyány u. 45. E-mail: immagyar@mol.hu

nak. Másrészt újraértékelünk „archív” (~1988 óta készült) mérési adatokat a Soproni-hegység és a Kismartoni-medence hazai és osztrák oldaláról [eredeti mérések: FODOR et al. 1989; FODOR 1991; 1995]. A Gerecse és annak délkeleti előteréből BADA et al. [1996] valamint FODOR, PALOTÁS nem publikált adatainak újraértékelésére került sor. A Bakonyban FODOR [1997] és kisebb részben a Balaton-felvidéken [DUDKO 1991; DUDKO, FODOR nem publikált adatai] történt méréseket szintén újraértelmeztük. A Vértes területén a mérések az utóbbi években történtek, így az újraértékelésre nem volt szükség. A Gerecse nyugati peremén, a Vértesben és délkeleti előterében kapcsolatot kerestünk a terepi mérési adatok és a feszültségtér-számítások eredményei, valamint a térképezhető szerkezetek között. Ehhez felhasználtuk a Magyar Állami Földtani Intézetben az utóbbi időben elkészült, jórészt kézíratos térképeket és a leírások alapján újraértékelt fúrási adatbázist. A Vértes délkeleti előterében szelvényeket szerkesztettünk, amelyek segítségével a késő-miocén („pannon”)

előtti, alatti, és annál fiatalabb deformációk nagyságára kerestünk választ.

Határainkon túl a Mura-medencében és a Pohorjében végeztünk mikrotektonikai méréseket.

Bádeni utáni vízszintes mozgásokra (ezek forgási komponense mérhető paleomágneses módszerrel) a Kárpát-medencében a jelen projektet megelőzően csak néhány paleomágneses jelzést ismertünk. E projekt keretében készültek azok a paleomágneses vizsgálatok, a terepi mintavételtől kezdve a laboratóriumi méréseken keresztül a statisztikus kiértékelésig, amelyek az 1. ábrán látható területeken, bádeni utáni rotációkról adnak információt. (A laboratóriumi mérések a remanens mágneszettség mérését, mintánként sok lépcsőben elvégzett lemágnesezést, a remanens mágneszettség újramérését minden lemágnesezési lépés után, termolemágnesezés folyamán a mágneses szuszceptibilitás monitorozását, mágneses szuszceptibilitás anizotrópia méréseket és a mágneses ásvány azonosítását szolgáló mágneses méréseket jelentették.)



1. ábra. Bádeni utáni, óramutató járásával ellentétes rotációk a Kárpát-medence területén (és peremén). 1. Árva-medence [BAUMGART-KOTARBA, MARCAK, MÁRTON 2004], 2. Pieniny andezitek [MÁRTON, TOKARSKI, HALÁSZ 2004], 3. Vihorlát [TÚNYI et al. 2005], 4. Kelet-Szlovákiai medence [MÁRTON, VASS, TÚNYI 2000], 5. Tokaji-hegység, 6. Máramaros [MÁRTON et al. 2007], 7. Fruška Gora [LESIĆ, MÁRTON, CVETKOV 2007], 8. Medvednica–Papuk harmadkori üledékes környezete [MÁRTON et al. 2002a], 9. Krško–Karlovác medence [MÁRTON et al. 2006a], 10. Mura-medence [MÁRTON et al. 2002b], 11. Pohorje [MÁRTON et al. 2006b], 12. Dunántúli-középhegység [MÁRTON, FODOR 2003] és a Balaton déli partja, 13. Soproni-hegység és környezete, 14. Bükk előtere (Bükkábrány és Mályi)

Fig 1. Post Badenian counter-clockwise rotations in the Pannonian basin (and surroundings). 1. Orava-basin [BAUMGART-KOTARBA, MARCAK, MÁRTON 2004], 2. Pieniny andesites [MÁRTON, TOKARSKI, HALÁSZ 2004], 3. Vihorlat Mts. [TÚNYI et al. 2005], 4. East Slovakian Basin [MÁRTON, VASS, TÚNYI 2000], 5. Tokaj hills, 6. Maramures area [MÁRTON et al. 2007], 7. Fruška Gora [LESIĆ, MÁRTON, CVETKOV 2007], 8. Tertiary sediments around Medvednica–Papuk [MÁRTON et al. 2002a], 9. Krško–Karlovac basin [MÁRTON et al. 2006a], 10. Mura basin [MÁRTON et al. 2002b], 11. Pohorje Mts. [MÁRTON et al. 2006b], 12. Transdanubian Range [MÁRTON, FODOR 2003] and outcrops south of lake Balaton, 13. Sopron hills, 14. Bükk foreland (Bükkábrány and Mályi)

Az eredmények összefoglalása

Korábban ismeretlen vagy bizonytalan korú pannóniai feltárások biosztratigráfiai korbesorolása

A Visonta és Bükkábrány térségében fejtett lignites rétegsor 7,5–5,3 millió év közé helyezhető. A felső határ azonban lehet 6,5–7 millió év is, mert a miocén és pliocén között üledékhiány van. A Mályi téglagyári feltárás faunája a Sopron, Balfi úti téglagyári fejtők faunájához hasonló, kora 9,5–10 millió év lehet. A Balatonszentgyörgy téglagyári fejtőben a legfiatalabb ismert forma alapján a kor 8 millió év körüli becsülhető. Az M7 autópálya építése során a 140. kilométerszelvényben feltárt anyag kora 8,5–9 millió évre becsülhető.

Bádeni utáni feszültségtér a Dunántúlon

Minden vizsgált területen kimutatható volt a szarmata (késő-bádeni) előtti feszültségtér (feszültségterek) hatása késő-bádeninél idősebb kőzetekben. Ezek a Pannon-medence pre-rift (~30–18 Ma) és szin-rift (~18–14 Ma) fázisaival korrelálhatók. Kiemelendő, hogy a kutatás során a Vértes előterében (Orondpusztán) sikerült késő-oligocén szinszediment szerkezetet igazolnunk, ami egyedi a Középhegységben.

A szarmata üledékképződést szinszediment törés deformáció befolyásolta a Vértes–Gerecse keleti előterében. A számítható (becsülhető) tágulások feszültségtér K–Ny és KDK–NyDNY között változott kis mértékben. Ez a feszültségtér és deformáció már korábbi munkákban is kimutatásra került [FODOR et al. 1994; BADA et al. 1996; CSILLAG et al. 2002].

A Vértesben igazolható a pannon alatti törés deformáció hatása. Ez mind feltárás méretű üledékes telérekben, mind térképezhető szerkezetekben testet ölt. A feszültségtér az előző fázishoz képest nem változott jelentősen. A miocén végén és a pliocénben a pannon üledékeket is érintette egy további deformációs fázis (a tenzió iránya ÉNy–DK). Ennek hatását a Vértes délkeleti előterének szelvényei és földtani térképek egyaránt rögzítik.

A Soproni-hegységben szinszediment szarmata és pannon törések nincsenek, de a megfelelő feszültségtér jelentkezik, csakúgy, mint a legfiatalabb deformációs fázis hatása.

A Mura-medence déli szegélyén (Haloze) mért feszültségtér adataink gyűrődést és pikkelyeződést mutatnak ÉÉNy–DDK-i kompressziós-eltolódásos térben. A deformáció a miocén legvégén vagy a pliocén elején történhetett.

A Pohorje területén számos képlékeny és törés deformációs tartományban keletkezett szerkezetet azonosítottunk. Komplex paleomágneses, képlékeny és törés szerkezeti megfigyelésekkel igazolni tudtuk, hogy a deformáció folyamatosan tágulások volt a kőzetek hűlése (kiemelkedése) alatt. A vetőkből számítható feszültségtér jórészt tenziós, ÉK–DNY és K–Ny közötti tágulási iránnyal. A törés deformáció a kárpáti-bádeni alatt biztosan zajlott, a fiatalabb események kora kérdéses. A deformáció során a tágulás tengelyirányai egyes helyeken nem változtak, míg máshol kis mértékben óramutató járásával egyezően forogtak. Egyelőre nem tudjuk igazolni, hogy ez a változás a területen egyidőben és szisztematikusan történt-e. Jelentkezik még egy kb. É–D-i kompressziós-eltolódásos tér hatása is, amely a tágulás utának tűnik és talán a negyedidőszakban lépett fel.

Bádeni utáni vízszintes elmozdulásokat bizonyító (valószínűsítő) paleomágneses eredmények

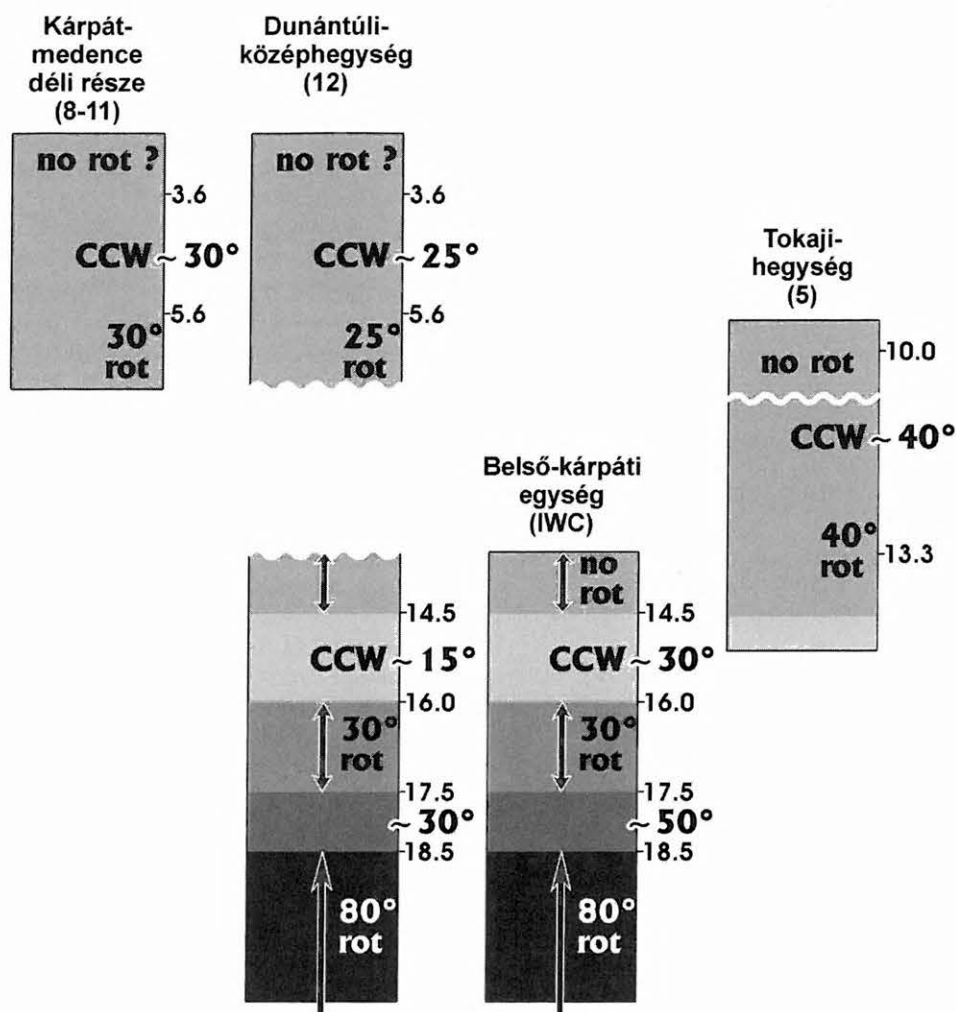
Az 1. ábrán megjelölt területeken bádeni korú vagy annál fiatalabb kőzeteken általában 320–340° deklinációkat határoztunk meg, ami meglepően egységes, mérsékelt nyugati forgásra utal. Az adatok száma minták szintjén több ezerre tehető, míg mintavételi helyek szintjén több százat jelent (mivel egy-egy mintavételi helyről minimum hat mintát vizsgálunk). Kérdés, hogy a különböző területeken megfigyelt rotációk egykorúak-e.

A vizsgált kőzetek kora természetesen csak a bennük „befagyott” remanens mágnesezettség lehetséges alsó korhatára és az a forgás, amelyet a paleomágneses irányok jeleznek, még a mágneseződés koránál is fiatalabb. Ahhoz, hogy az egyes területeken végbement bádeni utáni rotációk korát meghatározzuk, minden esetben mérlegelni kellett, hogy a mágnesezettség az illető kőzet keletkezése utáni tektonikai fázisokhoz viszonyítva elsődleges vagy utólagos. Ezt egzakt módon a paleomágnesességben használatos gyűrődési (billenési) teszttel végeztük el a projekt keretében vizsgált területek mindegyikére, kivéve a 2, 3, 5 és 14 (1. ábra) számúakat, ahol csak (vagy dominánsan) vulkáni kőzeteket tudtunk mérni, vagy ahol a rétegek vízszintesek voltak. Ilyenkor azzal a feltételezéssel éltünk, hogy a mágnesezettség elsődleges (így a rotáció alsó korhatára a kőzet korához kötött). Megállapíthattuk, hogy egy-egy területen akár idősebb, akár fiatalabb volt a mágnesezettség a deformációnál, a rotáció iránya és szöge ugyanaz volt, így mindenütt egyetlen bádeni utáni rotációval kell számolnunk. A rotáció azonban a Kárpát-medence nem minden részén azonos korú, hiszen néhány millió év különbség biztosan van az északkeleti és a délnyugati területek között (utóbbiak fiatalabbak, 2. ábra).

A feszültségtér fejlődése és paleomágneses adatok összevetése a Dunántúlon és a Mura-medence–Pohorje területén

Amennyiben elfogadjuk, hogy a kb. 30°-os nyugati deklinációval jellemzett paleomágneses adatok forgásként értelmezhetők, akkor ennek tükröződnie kell a feszültségtér adatokban. Erre van is lehetőség mind a Dunántúli-középhegységben, mind a Soproni-hegységben, mivel a miocén végén vagy a pliocén elején felismerhető vagy inkább sejthető egy óramutató járásával egyező változás a tenzió irányában (KDK-ről DK-re). Ez értelmezhető a kőzetek forgásával. Megjegyzendő azonban, hogy a rossz feltártsági viszonyok miatt a feszültségtér változásának egyidejűsége az egész Dunántúlon nem teljesen igazolt (részben a pannon üledékek meglévő korolási bizonytalansága miatt); az idősebb és fiatalabb fázisok tengelyirányai közötti különbség elég kicsi, és tengelyirányok gyakran csak becsülhetők.

A Mura-medence mikrotektonikai elemzése miocén végé-pliocén deformációt mutatott ki, amelynél a terület nyugati rotációja fiatalabb. A Pohorjeiben nem tudtunk határozottan állást foglalni a forgás és feszültségtér viszonyát illetően, habár vannak indikációk arra nézve, hogy a feszültségtengelyek változása óramutatóval egy irányban történt, ami megfelelne egy ellenkező irányú kőzetet ért forgásnak.



2. ábra. A paleomágneses módszerrel kimutatott rotációk kora a Kárpát-medence különböző területein. A számok és a rövidítés az oszlopok felett az első ábrára vonatkoznak. Az oszlopok mellett a kisebb számok a kort jelentik millió évben, a nagyobb számok a rotáció szögét. Az oszlopok belsejében használt rövidítések a következők: CCW: óramutató járásával ellentétes; rot: forgás; no rot: a forgás befejeződése. A 12. és 13. számú területek a Pannon-medence déli részéhez csatlakoztathatók, azon az alapon, hogy a legfiatalabb kőzet, amelyen forgást mértünk, pannóniai korú, míg a 6. terület Dézs tufája (amely a paleomágneses eredmények forrása) megfeleltethető a kelet-szlovákiai-medence bádeni korú tufáinak, és mindkét medence a Transzkárpáti-depresszióhoz tartozik. Az 1, 2 és 14 helyeken megfigyelt rotációk csak úgy illeszthetők a jelentésben leírt geodinamikai fejlődéstörténetbe, ha feltételezzük, hogy ezek nem regionális jellegűek, hanem vízszintes eltolódási vonalakhoz kapcsolódnak.

Fig 2. Age of the paleomagnetically indicated rotations in the Pannonian basin

Az eredmények geodinamikai jelentősége

Bádeninél fiatalabb, óramutató járásával ellentétes irányú rotációk a Kárpát-medence több pontján jelentkeznek, de vannak olyan területek is (1. ábra, IWC), ahol nagyszámú paleomágneses adat (K/Ar korokkal alátámasztva) igazolja, hogy az utolsó forgás a bádeniben történt. A szarmata előtti rotációkat az alpi területről való kiszökéssel és a Nyugati-Kárpátokban végbement szubdukcióval lehet összefüggésbe hozni. Az észak-magyarországi paleogén medence területén ezek a folyamatok nagyobb, a szubdukciós fronttól távolabb, a Dunántúli-középhegységben kisebb nyugati rotációval jártak (2. ábra, 3. és 2. oszlop). A későbbiekben az észak-magyarországi paleogén medence (és valószínűleg az egész Belső-nyugati Kárpáti terület) északhoz képest nem fordult el. Ugyanakkor az 1. ábrán látható 3, 4, 5, 6 területek nyugati rotációját a szarmata–

pannon határ környékén nagyszámú paleomágneses adat mutatja. Ezt a rotációt is szubdukciós hatásnak tulajdoníthatjuk, hiszen a szubdukció a Kárpátok északkeleti szegmensében még aktív volt, amikor a nyugati szegmensben már befejeződött.

A Kárpát-medence déli és nyugati részén megfigyelt, legfiatalabb forgások az Adriai-mikrolemez északra irányuló mozgásával és nyugati rotációjával lehetnek kapcsolatosak. Itt megjegyzendő, hogy éppen a Kárpát-medencében megfigyelt legfiatalabb forgások geodinamikai értelmezése szempontjából volt döntő jelentőségű az a vizsgálat, amelyet részben a jelen projekt keretében (részben az Alpok-Adria program finanszírozásában) stabil Isztriáról az adriai terület eocén utáni nyugati rotációját bizonyító adatokat szolgáltatott [MÁRTON et al. 2003, MÁRTON 2006].

HIVATKOZÁSOK

(a pályázat eredményein kívül)

- BADA G., FODOR L., SZÉKELY B., TIMÁR G. 1996: Tertiary brittle faulting and stress field evolution in the Gerecse Mts. N. Hungary. *Tectonophysics* **255**, 269–290
- CSILLAG G., FODOR L., PEREGI Zs., ROTH L., SELMECI I. 2002: Pliocene–Quaternary landscape evolution and deformation in the Eastern Vértes hills (Hungary): The heritage and reactivation of Miocene fault pattern. *Geologica Carpathica* **53**, special issue, 206–208
- DUDKO A. 1991: A Balaton-felvidék szerkezeti elemei. *Kirándulásvezető, MÁFI*, 60 o.
- FODOR L. 1991: Evolution tectonique et paléo-champs de contrainte oligocène et quaternaire dans la zone de transition des Alpes Orientales-Carpathes Occidentales: Formation et développement des bassins de Vienne et Nord-Pannoniens. Thèse de Doctorat (Ph.D. thesis), Université P. et M. Curie, Paris, 215 p.
- FODOR L. 1995: From transpression to transtension: Oligocene–Miocene structural evolution of the Vienna basin and the Eastern Alpine–Western Carpathian junction. *Tectonophysics* **242**, 151–182
- FODOR L. 1997: Szerkezetföldtani vizsgálatok a bakonyi szeizmikus szelvény mentén. Kézirat, MOL Rt., 113 p., 26 melléklet
- FODOR L., BENKOVICS L., GERNER P., MAGYARI A., PALOTÁS K., ROSTA É. 1989: A Sopron–Kismartoni medence neogén szerkezetföldtana. Magyarhoni Földtani Társulat Vándorgyűlése, Absztrakt kötet, p. 43. Sopron
- FODOR L., MAGYARI A., FOGARASI A., PALOTÁS K. 1994: Tercier szerkezetfejlődés és késő paleogén üledékképződés a Budai-hegységben. A Budai-vonal új értelmezése. *Földtani Közöny* **124**, 129–305
- MAGYAR I., GEARY D. H., MÜLLER P. 1999: Paleogeographic evolution of the Late Miocene Lake Pannon in Central Europe. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **147**, 151–167
- BAUMGART-KOTARBA M., MARCAK H., MÁRTON E. 2004: Rotation along the transverse transforming Orava strike-slip fault: based on geomorphological, geophysical and paleomagnetic data (Western Carpathians). *Geologica Carpathica* **55**, 3, 219–226
- FODOR L., JELEN B., MÁRTON E., RIFELJ H., KRALJIC M., KEVRIC R., MÁRTON P., KOROKNAI B., BÁLDI-BEKE M. 2002: Miocene to Quaternary deformation, stratigraphy and paleogeography in Northeastern Slovenia and Southwestern Hungary. *Geologija* **45**, 1, 103–114
- LESIĆ V., MÁRTON E., CVETKOV V. 2007: Tertiary rotations detected in the Fruška Gora (South Pannonian Basin) by paleomagnetic measurement. *Geologica Carpathica* **58**, 2
- MÁRTON E. 2006: Paleomagnetic evidence for Tertiary counter clockwise rotation of Adria with respect to Africa. In: Pinter N., Greneczy Gy., Weber J., Stein S., Medak D. (Eds): *The Adria microplate: GSP Geodesy, Tectonics and Hazards*. NATO Science Series IV–61, 71–80
- MÁRTON E., DROBNE K., ČOSOVIC V., MORO A. 2003: Palaeomagnetic evidence for Tertiary counter clockwise rotation of Adria. *Tectonophysics* **377**, 1–2, 143–156
- MÁRTON E., FODOR L. 2003: Tertiary paleomagnetic results and structural analysis from the Transdanubian Range (Hungary): sign for rotational disintegration of the Alcapa unit. *Tectonophysics* **363**, 3–4, 201–224
- MÁRTON E., JELEN B., TOMLJENOVIC B., PAVELIC D., POLJAK M., MÁRTON P., AVANIC R., PAMIC J. 2006a: Late Neogene counterclockwise rotation in the SW part of the Pannonian Basin. *Geologica Carpathica* **57**, 41–46.
- MÁRTON E., FODOR L., JELEN B., MÁRTON P., RIFELJ H., KEVRIC R. 2002b: Miocene to Quaternary deformation in NE Slovenia: complex paleomagnetic and structural study. *Journal of Geodynamics* **34**, 627–651
- MÁRTON E., PAVELIC D., TOMLJENOVIC B., AVANIC R., PAMIC J., MÁRTON P. 2002a: In the wake of a counter clockwise rotating Adriatic microplate: Neogene paleomagnetic results from Northern Croatia. *International Journal of Earth Sciences* **91**, 514–523
- MÁRTON E., PAVELIC D., TOMLJENOVIC B., MÁRTON P., AVANIC R. 2005: Paleomagnetic investigations in the Croatian part of the Pannonian basin: a review. *Acta Geologica Hungarica* **48**, 2, 225–233
- MÁRTON E., TISCHLER M., CSONTOS L., FÜGENSCHUH B., SCHMID S. M. 2007: The contact zone between ALCAPA and Tisza–Dacia megatectonic units of Northern Romania in the light of new paleomagnetic data. *Eclogae Geologicae Helvetiae* **100**
- MÁRTON E., TOKARSKI A. K., HALÁSZ D. 2004: Late Miocene counter clockwise rotation of the Pieniny andesites at the contact of the Inner and Outer West Carpathians. *Geologica Carpathica* **55**, 5, 411–419
- MÁRTON E., TRAJANOVA M., ZUPANČIČ N., JELEN B. 2006b: Formation, uplift and tectonic integration of a Periadriatic intrusive complex (Pohorje, Slovenia) as reflected in magnetic parameters and palaeomagnetic directions. *Geophysical Journal International* **167**, 1148–1159
- MÁRTON E., VASS D., TÚNYI I. 2000: Counter clockwise rotations of the Neogene rocks in the East Slovak Basin. *Geologica Carpathica* **51**, 3, 159–168
- TÚNYI I., MÁRTON E., ŽEC B., VASS D. 2005: Paleomagnetism of Neovolcanics of the Vihorlatské vrchy Mts. *Mineralia Slovaca* **37**, 268–271

A PÁLYÁZAT EREDMÉNYEI

Környezeti hatások kutatása vasszulfid-tartalmú üledékes kőzetek mágneses tulajdonságai alapján

MÁRTON PÉTER¹, MÁRTONNÉ SZALAY EMŐKE², BABINSZKI EDIT³, KISS LÁSZLÓ FERENC⁴

OTKA nyilvántartási szám: T 029805 (1999–2002)

Paleomágneses vizsgálataink megmutatták, hogy a greigit (Fe_3S_4) egyrészt meglehetősen elterjedt mágneses ásvány a Pannon-tó finomszemű üledékeiben, másrészt hasznos paleomágneses jelet hordozhat, amelynek elkülönítése és azonosítása azonban bizonyos többlet gondosságot igényel. Minthogy általában rendkívül kis koncentrációban van jelen, a greigit kimutatására a viszonylag nagy mintákat és speciális előkészítést igénylő ásványtani módszerek helyett nagy érzékenységű és szabvány paleomágneses mintákkal operáló kőzetmágnességi módszereket alkalmaztunk. Vizsgáltuk a paleomágneses minták viselkedését termikus lemagnezéssel szemben, kiválasztott mintákkal többféle IRM kísérletet hajtottunk végre és megmértük néhány minta hiszterézisgörbéjét. Az eredmények meggyőzően bizonyítják az alkalmazott módszerek hatékonyságát a vasszulfidok azonosítására. Ugyanakkor a hasznos paleomágneses jelet hordozó (egyébként metastabil) vasszulfid a környezeti feltételek változatlanóságát is tanúsítja a jel kialakulása óta eltelt időben.

P. MÁRTON, E. MÁRTON, E. BABINSZKI, L. F. KISS: Study of the environmental effects using magnetic characteristics of sedimentary rocks with Fe-sulphides

Palaeomagnetic measurements have shown that greigite (Fe_3S_4) is a rather widespread magnetic mineral in fine grained sediments of Lake Pannon and is capable of carrying useful palaeomagnetic signal of which the extraction, however, may require some extra care. In this note we present the results of those rockmagnetic measurements that we employed for the identification of the mineral greigite as well as the extraction of the palaeomagnetic signal it may carry in some fine grained sediment of Lake Pannon. The palaeomagnetic signal carried by the (otherwise metastable) greigite in these sediment is indicative of unchanged environmental conditions over time.

Bevezetés

Az utóbbi években megszorozódott azon környezeti mágneses és paleomágneses tanulmányok száma, amelyek autigén ferromágneses vasszulfidokat azonosítottak üledékek mágneses tulajdonságainak hordozójaként a legkülönbözőbb üledékképződési környezetekben. Ezzel párhuzamosan, saját paleomágneses kutatásaink során egyre több indikációt kaptunk arra, hogy finomszemű, földtani értelemben viszonylag fiatal üledékekben normálisan előforduló vasoxidok (pl. magnetit) mellett sok esetben mágneses vasszulfid (pl. greigit Fe_3S_4) a mágneses tulajdonságok domináns hordozója. Míg a magnetit legtöbbször törmelékes eredetű, a mágneses vasszulfidok a diagenézis korai szakaszában, közbülső termékként képződhetnek, a folyamat paramágneses végtermékét, a piritet (FeS_2) megelőzve. A mágneses vasszulfidok korábban nem gyanított gyakori előfordulása arra utal, hogy noha ezek termodinamikailag metastabil fázisok a pirithez viszonyítva, finomszemű üledékekben a diagenézis folyamata e fázisoknál több okból kifolyólag is megállhat, például kénszegény viszonyok

között (sok édesvízi környezet ilyen), vagy kén jelenlétében, ha az iszap tömörsége megakadályozza pórusfolyadék áramlását, s a vasszulfid képződés a greigittel befejeződik.

Az OTKA T029805 számú munka keretében a Pannon-tó üledékeit vizsgáltuk mágneses és paleomágneses módszerekkel. A mintavétel során 34 frissen fejtett, felszíni feltárásból — a paleomágneses gyakorlatnak megfelelően —, feltárásonként legalább tíz, függetlenül tájolt, teljesen orientált mintát, és három mélyfúrás esetében ugyanennyi, egymáshoz képest orientált mintát vettünk és dolgoztunk fel (1. ábra).

A Pannon-tó üledékeiből származó minták mérési eredményeit összehasonlítottuk két, a Kárpáti-előmedence területén található lelőhelyről származó minták mágneses és paleomágneses méréseinek eredményeivel. E két lelőhelyről származó mintákban a mágneses vasszulfidokat korábban mind ásványtani, mind mágneses módszerrel azonosítottuk [PÓSFALAI et al. 2001].

A kutatás során összefüggéseket kerestünk egyrészt az üledékes kőzetek mágneses tulajdonságai és mágneses ásványai között, másrészt azt vizsgáltuk, hogy a vasszulfid-tartalmú üledékek előfordulása milyen üledékes környezetekhez köthető.

Alkalmazott módszerek

Először megmértük a minták szuszceptibilitását, valamint természetes remanens (NRM), és izotermikus remanens mágnezettségének (IRM) intenzitását. A vasszulfid-tartalmú mintákra a viszonylag nagy mágneses intenzitás és

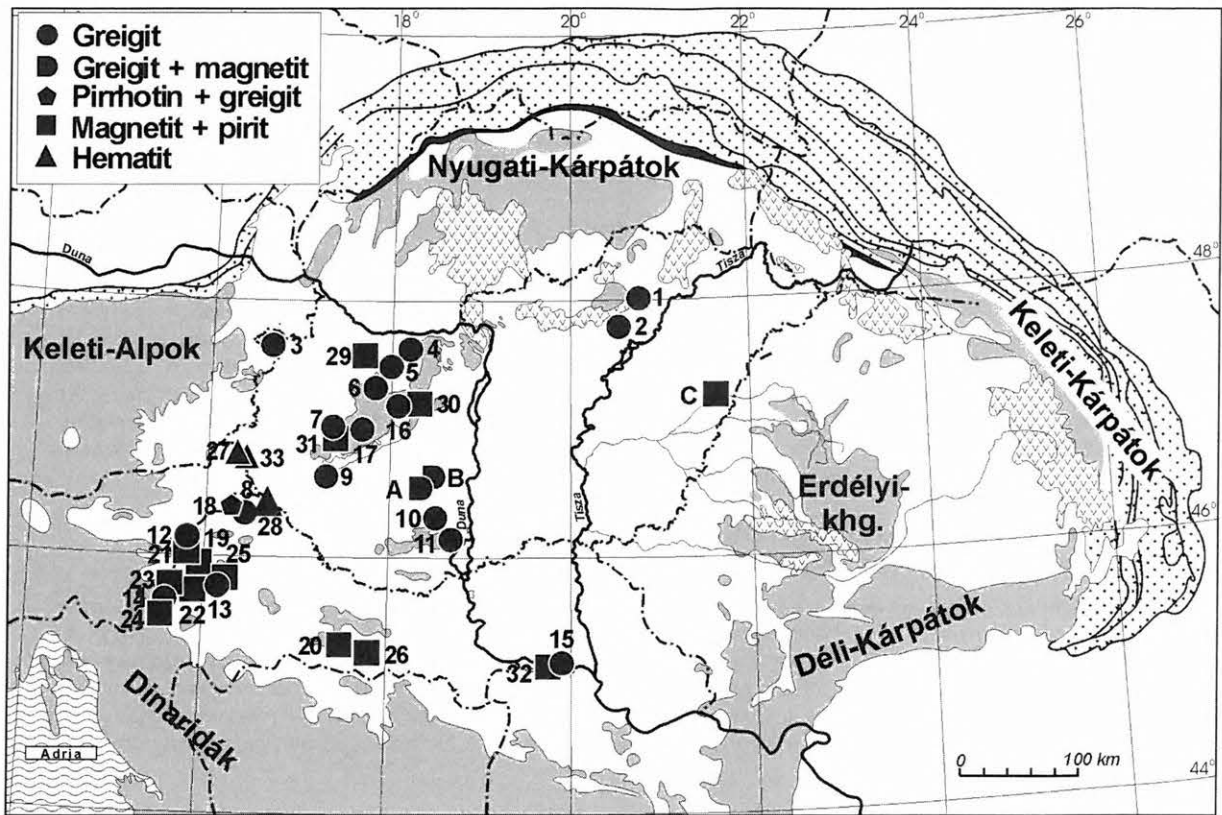
¹Eötvös Loránd Tudományegyetem Geofizikai Tanszék,
H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c,
martonp@ludens.elte.hu

²Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet,
H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23, paleo@elgi.hu

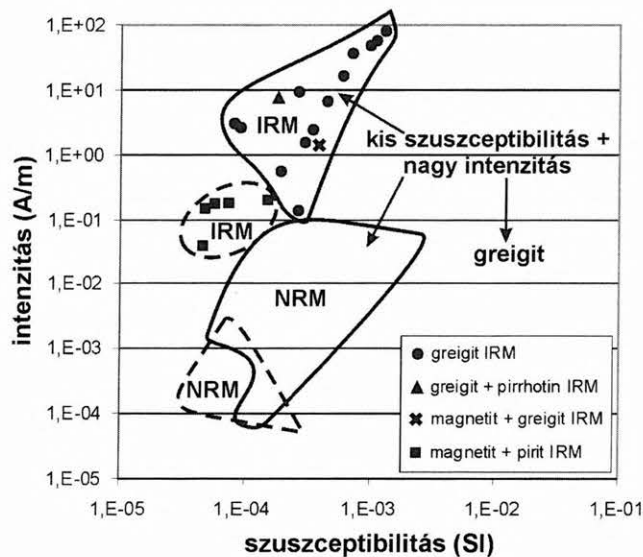
³Magyar Állami Földtani Intézet,
H-1143 Budapest, Stefánia út 14, babinszki@mafi.hu

⁴MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet,
H-1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29–33,
kissl@mail.szfki.hu

a viszonylag kis szuszceptibilitás jellemző (2. ábra). A későbbi mágneses vizsgálatok kimutatták, hogy ezekben a mintákban a legtöbb esetben valóban vasszulfid a mágneses ásvány, de egyedül ezzel a gyors módszerrel a magnetit-tartalmú mintáktól nem lehet egyértelműen elkülöníteni őket.



1. ábra. Mintavételi helyek a Pannon-tó finomszemcsés üledékeiben a mágnesezettséget hordozó ásványok megjelölésével
 Fig. 1. Sampling localities in fine-grained sediments of Lake Pannon with the carriers of magnetisation indicated

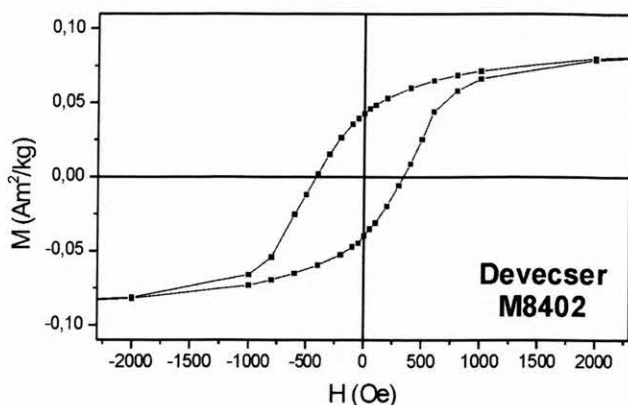


2. ábra. Mágneses ásványok gyors meghatározása: NRM és IRM intenzitás a szuszceptibilitás függvényében. Folytonos kontúr: greigitet tartalmazó minták; szaggatott kontúr: magnetitet tartalmazó minták
 Fig. 2. Susceptibility vs. intensity crossplot for quick-look determination of magnetic minerals. Continuous contours: greigit-bearing samples; broken contours: magnetite-bearing samples

Az ezután elvégzett paleomágneses mérések (NRM termolemágnesezése) során a felszíni feltárásokból származó mintacsoportok konzisztens paleomágneses adatokat szolgáltatottak, azaz feltételezhető volt, hogy a meghatározott remanencia elsődleges, az üledék lerakódásával közel egyidejű.

A további vizsgálatok a remanenciát hordozó ásvány(ok) azonosítását célozták. A Kárpáti-előmélységből származó mintákhoz hasonlóan, a mágneses ásvány(oka)t megkíséreltük ásványtani módszerek alkalmazásával is meghatározni, de sajnos nem jártunk sikerrel. Ez annak tudható be, hogy a mintákban rendkívül kis mennyiségben (néhány tízezrelék) található mágneses ásványok ásványtani vizsgálatra történő elkülönítése rendkívül nehéz, amit tovább nehezít, hogy a greigit szubmikron méretű és külső behatásra könnyen átalakuló szemcsék formájában van jelen. A kutatás során így a mágneses ásványok azonosítását a Pannon-tó üledékeiben mágneses módszerrel végeztük el, és az eredményeket összevetettük a Kárpáti-előmélységből származó, ásványtani módszerekkel is igazolt greigit-tartalmú minták mérési eredményeivel.

A 3. ábrán a hiszterézismérések során kapott jellegzetes hiszterézishurok látható. A görbe alakja arra utal, hogy a mintában a mágneses anyag egydoménú szemcsék formájában van jelen (ami jellemző a greigitre). A hiszterézis görbékből számított mágneses anyag koncentrációja valóban kicsinynek, 0,04–0,22 tömegszázalék közöttinek adódott.

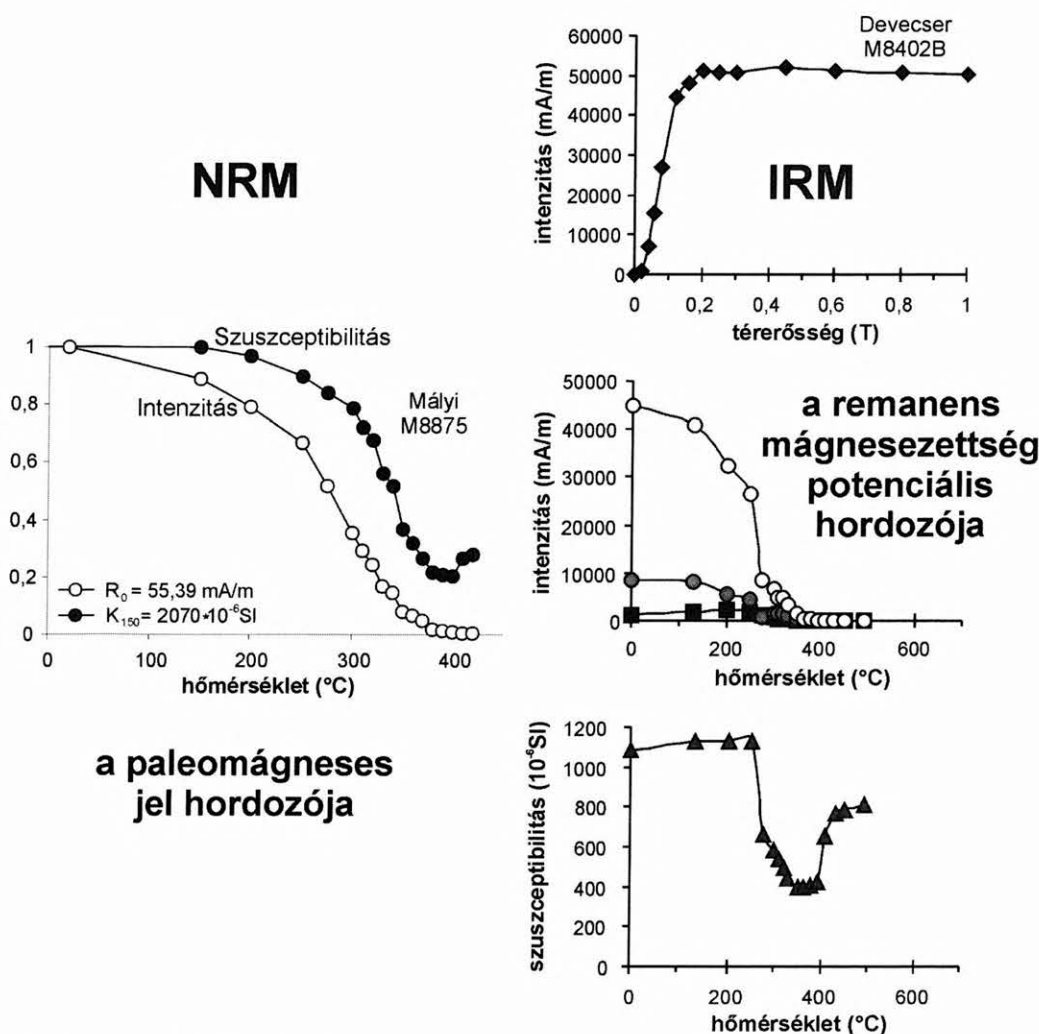


3. ábra. Egydoménű ásványt tartalmazó minta mágneses hiszterézis görbéje

Fig. 3. Magnetic hysteresis loop for a sample containing single domain grains

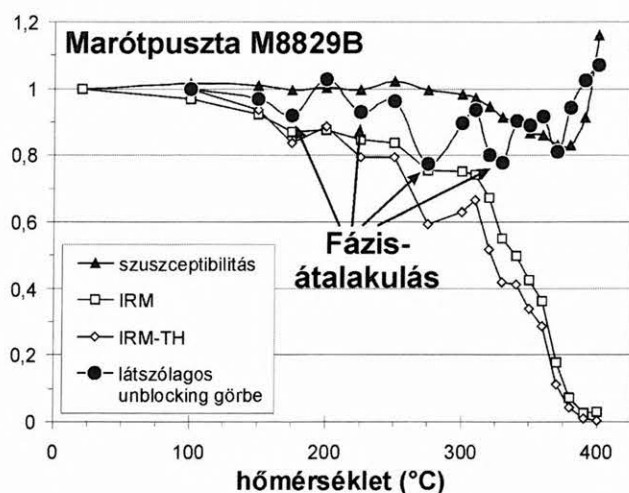
A remanenciát hordozó ásvány(ok) pontos meghatározásához további fontos adatokat kaphatunk az NRM és a szuszceptibilitás hőmérséklet függésének felvételével (termolemágnesezés), ugyanis a greigit átalakulása már viszonylag kis hőmérsékleten megindul, 400 °C felett pedig magnetitté alakul át. A folyamat nyomon követhető a 4. ábrán (bal oldali diagram). Jól láthatóan az NRM 400 °C-ig teljesen lemágneseződik, a szuszceptibilitás pedig ezen a hőmérsékleten hirtelen megnövekszik (magnetitképződés kezdete).

Az NRM kísérletekben a paleomágneses jelet hordozó ásványt vizsgáljuk. Az IRM mérések viszont fényt derítenek az összes fázisra, amelyek a remanenciát hordozhatják. A 4. ábra IRM görbéje (kezdeti lassú emelkedést követő meredek növekedés és viszonylag kis térben történő telítés), továbbá a háromirányú IRM termolemágnesezési görbe, amely egyetlen, 400 °C-ra lemágneseződő fázist mutat, egyértelműen greigitre utalnak, amit megerősít a szuszceptibilitás 400 °C előtti és utáni viselkedése is.



4. ábra. Greigit-tartalmú minták NRM és IRM termolemágnesezése. NRM görbék: normált intenzitás (üres körök) és szuszceptibilitás (tele körök) a hőmérséklet függvényében. IRM görbék: IRM felmágnesezési görbe (felső diagram), háromirányú IRM [LOWRIE 1990] termolemágnesezése (középső diagram) és a szuszceptibilitás változása a melegítés során (alsó diagram). A lágy (üres körök), a közepes (szürke körök) és a kemény (négyzetek) komponensek a 0,12; 0,36, ill. 1,0 T-ás térben felvett IRM-ek

Fig. 4. Thermal decomposition of NRM and IRM of greigit-bearing sample. NRM: normalized intensity (hollow circles) and susceptibility (full circles) versus temperature. IRM: IRM acquisition curve (upper diagram), behaviour of a composite IRM [LOWRIE 1990] on thermal demagnetization (middle diagram) and change in susceptibility on heating (lower diagram). The hard (squares), the medium hard (grey circles) and soft (hollow circles) components of the composite IRM were acquired in fields of 0.12, 0.36 and 1.0 T, respectively



5. ábra. Pirrotin–greigit elkülönítési módszer [TORII et al. 1996] — greigitartalmú minta. Normált telítési IRM (SIRM) a termolemágnesezés előtt (négyzetek) és után (rombuszok). Látszólagos unblocking görbe (tele körök): ugyanazon termolemágnesezési lépés előtti és utáni SIRM különbsége levonva a termolemágnesezés előtti SIRM értékéből. A görbe minimumhelyei a greigit fázisátalakulási lépéseit jelzik. Háromszög: a szuszceptibilitás változása a melegítés során

Fig 5. The pyrrhotite–greigit discrimination method [TORII et al. 1996] — greigit-bearing sample. Normalized saturation IRMs (SIRMs) before (square) and after (diamonds) thermal demagnetization. Apparent unblocking curve (full circles): difference of SIRMs before and after each thermal demagnetization step subtracted from the SIRM before thermal treatment. The minima in the apparent unblocking curve result from the decomposition of greigit. Change in susceptibility on heating (full triangles)

Az 5. ábra a vasszulfid meghatározására (greigit vagy pirrotin) szolgáló kísérletet illusztrálja. Az izotermikusan telítésig mágnesezett minta IRM-jének termikus lemágnesezési viselkedése látható (azaz minden lemágnesezési lépés előtt és után is telítésig mágnesezzük a mintát). Pirrotin IRM-TH görbéje a hőmérséklet emelkedésével fokozatosan csökkenne, a Curie-hőmérsékleten (320°C) eltűnne, az IRM görbe viszont végig az 1-hez közeli értéket mutatna (hőmérséklettel szembeni kémiai/szerkezeti stabilitás). Az 5. ábrán ezzel szemben mind az IRM-TH, mind az IRM 400°C-ig fokozatosan eltűnik, ami magának az ásványnak az eltűnését, vagyis kémiai átalakulását jelenti.

Az ábrázolt esetben a vasszulfid greigit (lásd még a vonatkozó ábramagyarázatot).

A fenti eljárások alkalmazásával lehetővé vált a hasznos paleomágnesezési információt hordozó Pannon-tavi üledékek vizsgált feltárásaiban a mágnesezettséget hordozó mágnesező ásvány(ok) azonosítása (1. ábra).

Következtetések

A vizsgált 37 lelőhely mágnesezési paramétereinek megmutatják, hogy a greigit a Pannon-tó üledékeinek gyakori ásványa (1. ábra). Minthogy a vizsgált greigitartalmú üledékek különböző mélységekben, különböző hőmérsékleti viszonyok között, hiperszalintól édesvízig terjedő sótartalmú környezetekben rakódtak le, úgy tűnik, hogy sokféle környezetben kialakulhat a környezeti tényezőknek olyan kombinációja, amely mellett greigit képződhet és hosszú, geológiai időközökig meg is maradhat. A greigit képződésének feltétele ugyanis a nedves klímához kapcsolódó oxigénhiányos környezet (rétegzett, csökkent sótartalmú állóvíz, vagy mocsár), megmaradását pedig elősegíti nagy mennyiségű, finomszemű üledék behordása és a gyors betemetődés.

Az alkalmazásokat illetően vizsgálataink két dologra hívják fel a figyelmet. Az egyik az, hogy a greigit, noha metastabil ásványszerű ismert, sok esetben konzisztens paleomágnesezési jelet hordozhat, amely azonban bizonyossággal csak teljesen orientált és viszonylag nagyszámú minta mágnesezettségének vizsgálatával extrahálható. A másik pedig az, hogy a dominánsan greigitet tartalmazó üledékes összletek a mágnesező anomáliához remanens mágnesezettségükkel járulnak hozzá.

HIVATKOZÁSOK

- LOWRIE W. 1990: Identification of ferromagnetic minerals in a rock by coercivity and unblocking temperature properties. *Geophys. Res. Lett.* **17**, 159–162
- PÓSFALAI M., CZINER K., MÁRTON E., MÁRTON P., BUSECK P. R., FRANKEL R. B., BAZYLINSKI D. A. 2001: Crystal-size distributions and possible biogenic origin of Fe sulfides. *Eur. J. Mineral.* **13**, 691–703
- TORII M., FUKUMA K., HORNG C.-S., LEE T.-Q. 1996: Magnetic discrimination of pyrrhotite- and greigit-bearing sediment samples. *Geophys. Res. Lett.* **23**, 1813–1816

HÍREK, BESZÁMOLÓK

ARANYDIPLOMÁSOK KÖSZÖNTÉSE



2006. október 25-én a budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karának dékánja aranydiplomát adományozott azoknak a kollégáknak, akik a geofizikus szak első két évfolyamán végeztek.

Az ünnepélyes pillanatokra az ELTE Jogi Karának dísztermében került sor, ahol az egyes egyetemi karok dékánjainak jelenlétében az ELTE rektora nyújtotta át az aranyokleveleket.

Az aranydiplomákat az alábbi geofizikusok kapták:

Az 1955-ben végzettek közül:

ACZÉL Etelka

KORDA Péter

PINTÉR Anna

RUMPLER János

SZABÓ Zoltán

Az 1956-ban végzettek közül:

AVEDIK Félix (Franciaország)

BÁDONYI Géza

KILÉNYI Éva

KOVÁCS Béla

LACZKOVICS József

MIKLÓS Gergely

PÉTER György (USA)

SÉFEL József (Kanada)

SZARKA Rudolf

Az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI) munkatársai közül *STOMFAI Róbert* matematikus ugyanezen a napon kapta meg az aranydiplomát.

A Magyar Geofizika szerkesztőbizottsága csatlakozik a jubilánsok köszöntéséhez, jó erőt, egészséget kíván valamennyiüknek és továbbra is számít aktív közreműködésükre a Magyar Geofizikusok Egyesülete életében.

Bodoky Tamás

A MISKOLCI EGYETEM MŰSZAKI FÖLDTUDOMÁNYI KAR FELHÍVÁSA

A Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar felhívást intéz egykori hallgatóihoz, akik Sopronban az Alma materben, a Bányamérnöki Karon, vagy a Földmérőmérnöki Karon 1937-ben, 1942-ben, 1947-ben vagy 1957-ben, (70, 65, 60, 50 éve) vették át diplomájukat. Kérjük és várjuk jelentkezésüket, hogy részükre a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kara, jogosultságuk alapján, a rubin-, a gyémánt-, a vas- vagy az aranyoklevél kiállítása érdekében a szükséges intézkedéseket meg tudja tenni. Kérünk minden érintettet, hogy 2007. április 30-ig jelentkezzen, adja meg nevét, elérhetőségét (lakcím, telefonszám, e-mail cím), illetve az alábbi címre küldje meg oklevelének fénymásolatát,

szakmai önéletrajzát (maximum egy oldal), és kettő darab igazolványképet.

Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar
Dékáni Hivatal

3515 Miskolc-Egyetemváros

Telefon: +36(46)565-051

Fax: +36(46)563-465

e-mail: rekbdhiv@uni-miskolc.hu

Baracza Krisztián

irodavezető

Ormos Tamás

A Nemzetközi Földtudományi Unió (IUGS) és az UNESCO kezdeményesét felkarolva az ENSZ 2008-at a *Föld Bolygó Nemzetközi Év*évé nyilvánította.

Az emberiség nem lehet meg a Föld nélkül. Teljes mértékben tőle függünk, mert belőle lettünk, és örökké a része leszünk. Csakis egy önmagát fenntartó Földrendszerben tudunk létezni. Minél több ismerettel rendelkezünk, annál világosabban látjuk, hogy vigyáznunk kell a Földre, mert gyermekeink, utódaink léte függ tőle. Meg kell értetnünk a társadalommal, hogy a fenntarthatóság kulcsa a földtudomány. A kutatók a Föld sok titkát feltárták már, és hatalmas haladást értek el annak megértésében, hogyan működik a Föld. Az emberiség — sajnos — mindezt az ismeretet nem megfelelően használja. Rossz helyeken építkezünk, és egyszer kiaknázható kincseket pusztítunk el, annak ellenére, hogy a természeti kockázatokat jelentős megbízhatósággal meg tudjuk jósolni. Úgy teszünk, mintha semmiről sem tudnánk, pedig a jobb élet kulcsa ott van a kezünkben.

A földtudományok művelői a világon mindenütt készek és felkészültek arra, hogy a társadalomnak biztonságosabb, egészségesebb és gazdagabb környezetet biztosítsanak.

A *Föld Bolygó Nemzetközi Éve* 2008 lesz, de a *Földtudományok a társadalomért* alcímű program már 2007-ben elkezdődik (és 2009-ben ér véget). Két fő cselekvési irányt alakítottak ki benne:

1. tudományos programot, amelynek rendeltetése, hogy megválaszolja a társadalmi szükségleteket kifejező tudományos kérdéseket,
2. tudománypopularizáló–ismeretterjesztő programot, amely oktatás, valamint tájékoztatás révén mutat rá a földtudományok sokrétű társadalmi hasznára.

A tudományos program kilenc tudományos témát ölel fel:

- Felszín alatti vizek (Groundwater),
- Földtani veszélyek (Hazards),
- Föld és egészség (Earth&Health),
- Éghajlat (Climate),
- Nyersanyag- és energiaforrások (Resources),
- Nagyvárosok (Megacities),
- A Föld mélye (Deep Earth),
- Óceán (Ocean),
- Talaj (Soil).

A népszerűsítő program a közvéleményt szolgálja. E program keretében olyasféle tevékenységeket képzelnek el, mint

- a tudományos témákban való előrehaladás és azok előzetes eredményeinek kommunikálása,
- a közönség bevonásának elősegítése,
- a nyilvánosság bevonása a kutatásba,
- kirándulások és túrák támogatása földtudományi szempontból érdekes helyekre (beleértve az ún. „geopark”-okat és „geosite”-okat is),
- a földtudomány társadalmi jelentőségének szóló hosszantartó oktatás forrásainak megteremtése és fenntartása,
- földtudományi tv-programok támogatása,
- utazó és helyben maradó kiállítások támogatása (pl. múzeumokban, hajókon, (video-) konferenciák, kerekasztal-beszélgetések stb.) földtudományi és azzal összefüggő társadalmi témákról,
- általában: a földtudományok eljuttatása a széles közvéleményhez.

Az IYPE-höz több más földtudományi programsorozat: az ún. *IGY+50* (a Nemzetközi Geofizikai Év 50. évfordulója, azaz 2007), a *Nemzetközi Sarki Év*, a *Nemzetközi Napfizikai Év* is csatlakozik. A magyarországi programsorozatot a *Magyar Tudományos Akadémia* koordinálja. A program kialakítása folyamatban van.

Nemzetközi honlap: <http://www.yearofplanetearth.org>, magyarországi kapcsolat: PlanetEarth@ggki.hu

Az MGE várja az ötleteket, felajánlásokat arról, hogy milyen akciókkal, rendezvényekkel, kiadványokkal csatlakozhatunk ehhez a programhoz.

Hegybíró Zsuzsanna

NYUGAT-MAGYARORSZÁG ÉS A HATÁR MENTI RÉGIÓK GEOLÓGIÁJA ÉS GEOFIZIKÁJA

Hotel Szieszta, Sopron, Lővér krt. 37.

Társrendezők:

- Magyarhoni Földtani Társulat
- Magyar Geofizikusok Egyesülete
- Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület Kőolaj-, Földgáz- és Vízbányászati Szakosztálya
- Society of Petroleum Engineers

PROGRAM

Szeptember 20. csütörtök

Megnyitó, köszöntések

Délelőtt: Plenáris ülés felkért előadókkal

50 éves a nagycenki MTA Széchenyi István Geofizikai Obszervatórium

Délután: szekcióülések és műhelytalálkozó három teremben párhuzamosan

A műhelytalálkozó témája: „*Problems and recent advances in the geodynamics of the Pannonian–East Alpine–Carpathian–Dinaridic domain*”

Este: fogadás

Szeptember 21. péntek

Délelőtt: A szekcióülések és a műhelytalálkozó folytatása

Délután: Az 50 éves nagycenki MTA Széchenyi István Geofizikai Obszervatórium bemutatása

Szabad program GGK módra: gulyás – grill – kékfrankos

Szeptember 22. szombat

Kirándulás Ausztriába. A Sopron környéki és az osztrák oldalon az alsó-kelet-alpi képződmények megtekintése. Előzetes útvonal: Fertőrákos–St. Corona–Kirchberg–Gloggnitz.

Kirándulásvezetők: Császár Géza, Haas János

Elsősorban a vándorgyűlés címében megjelölt témákhoz kapcsolódó előadások és poszter előadások bejelentését várjuk.

Az előadások időtartama 20 perc. Az előadások és poszterek összefoglalóit a szerzőktől 2007. május 31-ig kérjük.

A vándorgyűléshez kapcsolódva, a HUNTEK (Magyar Szerkezetföldtani Csoport) szakmai közreműködésével műhelytalálkozót szervezünk.

A HUNTEK szervezetről, céljairól a www.mafi.hu oldal magyar változatáról további információ kapható.

A műhelytalálkozó előzetes címe:

Problems and recent advances in the geodynamics of the Pannonian–East Alpine–Carpathian–Dinaridic domain

Három témában tervezünk előadást, posztert:

1) *Tertiary deformations, basin formation (Tercier deformációk, medencefejlődés)*

2) *Mesozoic deformations, nappe emplacement (Mezozoós deformációk, takaróképződés).*

1) *Neotectonics, recent geodynamics, morphotectonics (Neotektonika, mai geodinamika, morfotektonika)*

Részvételi díjak:

— Vándorgyűlés (szeptember 20–21.): 25 000 Ft/fő

A vándorgyűlésre regisztrált résztvevők látogathatják a HUNTEK által rendezett műhelytalálkozót.

— Terepbejárás Sopron környékén és Ausztriában (szeptember 22.): 5000 Ft/fő + Áfa

Jelentkezési határidő: 2007. április 30.

A részletes körlevél és a jelentkezési lapok megtalálhatók a www.foldtan.hu, honlapunkon, vagy kérheti a mail.mft@mtesz.hu címen.

Minden érdeklődőt szeretettel várunk!

Jó szerencsét!

a Magyarhoni Földtani Társulat Elnöksége

Rendezvénynaptár

2007. március		
2007. március 1.	A magyar EAGE csoport előadójelentése: doktoranduszok kutatási eredményei	Budapest, ELGI
2007. március 30–31.	Ifjú Szakemberek 37. Ankétja MFT–MGE közös rendezvény (www.isza2007.fw.hu)	Bakonybél, Bakony Hotel
2007. március 29– április 1.	Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), IX. Bányászati–Kohászati és Földtani Konferencia	Buziásfürdő, Románia
2007. április 15–20.	EGU közgyűlés (meetings.copernicus.org/egu2007)	Bécs, Ausztria
2007. április 16–18.	EAGE Olasz Szekció, EGM 2007: Innovation in EM, Grav and Mag Methods (www2.ogs.trieste.it/egm2007)	Capri, Olaszország
2007. április 20.	A Magyar Geofizikusok Egyesületének évi rendes közgyűlése	Budapest, MTESZ székház
2007. június 10.	A Nemzetközi Heliófizikai Év nyílt napja (www.rmki.kfki.hu/kffo/IHY)	
2007. június 10–14.	EAGE 69. évi közgyűlés és műszerkiállítás (www.eage.org)	London, Nagy-Britannia
2007. június 13.	Meteorokráterek Magyarországon: interdiszciplináris konferencia a hazai meteorokráter-kutatások helyzetéről és feladatairól	Veszprém, MTA VTB székház
2007. július 2–13.	IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics) 24. közgyűlés (www.iugg2007perugia.it)	Perugia, Olaszország
2007. szeptember 3–5.	Near Surface 2007 — 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, EAGE – NSGD (www.eage.org)	Isztambul, Törökország
2007. szeptember 20–22.	Az MFT, az MGE és az OMBKE vándorgyűlése: „Nyugat-Magyarország és a határ menti régiók geológiája és geofizikája”	Sopron
2007. szeptember 21–22.	MTA–MGE ünnepi konferencia a nagycenki Széchenyi István Obszervatórium fennállásának 50. évfordulója alkalmából	Sopron–Nagycenk
2008		
2008. június 2–5.	EAGE 70. évi közgyűlés és műszerkiállítás (www.eage.org)	Róma, Olaszország
2009		
2009. június 8–11.	EAGE, 71. évi közgyűlés és műszerkiállítás (www.eage.org)	Amsterdam, Hollandia
2009. augusztus 23–30.	IAGA kongresszus (www.ggki.hu)	Sopron

MGE: Magyar Geofizikusok Egyesülete; MFT: Magyarhoni Földtani Társulat; GGKI: MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, Sopron; EAGE: European Association of Geoscientists and Engineers; NSGD: EAGE Near Surface Geoscience Division; EGU: European Geosciences Union; OMBKE: Országos Magyar Bányász–Kohász Egyesület
További részletek, referenciák a honlapról érhetők el (www.mageof.hu).

Kakas Kristóf

A 47. évfolyamban közölt szakcikk lektorainak névsora ABC szerint:

BODOKY Tamás
BUS Zoltán
GÖNCZ Gábor
HEGYMEGI László
KIS Márta
KISS János
KOVÁCS Péter
POSGAY Károly
SCHOLTZ Péter
VARGA Péter
WESZTERGOM Viktor

HU ISSN 0025—0120

Főszerkesztő: dr. Bodoky Tamás

Szerkesztő: Tóth Lajos. Tel.: (1) 252 4999/142, e-mail: tothl@elgi.hu

Szerkesztőbizottság: dr. Aczél Etelka, dr. Ferenczy László, Hegybíró Zsuzsanna, Kakas Kristóf,
dr. Ormos Tamás, dr. Szarka László, Verő László

A szerkesztőség címe: Budapest, II., Fő u. 68. (1371 Budapest, Pf. 433)

Telefon: (1) 201 9815
